

# ユーラシア大陸ステップ土壤における気候および土地利用が土壤有機炭素の存在形態と動態に及ぼす影響

著者	神田 隆志
発行年	2015
学位授与大学	筑波大学 (University of Tsukuba)
学位授与年度	2015
報告番号	12102乙第2758号
URL	<a href="http://hdl.handle.net/2241/00134978">http://hdl.handle.net/2241/00134978</a>

ユーラシア大陸ステップ土壤における気候および土地利用が  
土壤有機炭素の存在形態と動態に及ぼす影響

2015 年 1 月

神田隆志

ユーラシア大陸ステップ土壤における気候および土地利用が  
土壤有機炭素の存在形態と動態に及ぼす影響

筑波大学大学院  
生命環境科学研究科

博士(農学)学位論文

神田隆志

## 要約

本研究では、ユーラシア大陸ステップを広域調査することにより、気候および土地利用の違いが表層土壌中の土壌有機炭素の量および粒径画分間の動態にどのような違いをもたらしているかを明らかにすることを目的とした。

ユーラシアステップ全体を広域評価するために、ユーラシアステップ内のウクライナ、カザフスタン、モンゴル、中国新疆ウイグル自治区および中国内蒙古自治区に至る範囲において、土壌断面調査を 43 地点で行った。土壌断面調査と理化学性分析の結果から、ユーラシアステップに分布している土壌は、表層の Mollic 層と下層の Calcic 層によって特徴付けられた。ユーラシアステップの土壌型は気候とよく対応しており、比較的降水量が多いユーラシアステップ西部のウクライナとカザフスタンでは、Phaeozem や Chernozem といった黒色の Mollic 層が特徴の土壌型が分布していた。ユーラシアステップ西部から東部に向かって乾燥が進むに従い、Mollic 層の土色が淡く、Calcic 層の出現が浅くなり、Kastanozem や Calcisol などの土壌型が出現する傾向が認められた。また、標高が高く、乾燥が厳しいユーラシアステップ中央部の中国新疆ウイグル自治区やモンゴル西部では、断面内に礫が多く、Cambisol や Regosol といった未熟な土壌が分布していた。

ユーラシアステップ表層土壌中の有機炭素量の規定要因を明らかにするため、気候因子として年降水量と年平均気温、土壌無機物の性質として粒径組成、粘土鉱物組成との関係について調べた。ユーラシアステップ表層土壌中の土壌有機炭素量は、単相関分析の結果から、年降水量および粘土含量との間に、高い正の相関を示した。また、土壌有機炭素量と強い相関を示した粘土含量は、年降水量との間にも同様に強い正の相関を示した。このことから、ユーラシアステップでは、降水量が多い地点ほど、地上部植生から土壌への有機物供給量が増加すると同時に、風化作用の促進および植生による風食耐性の増加による粘土含量の増加がもたらされることで、土壌有機物量が増加することが示された。

ユーラシアステップ表層土壌中の土壌有機炭素の粒径別存在形態および各粒径画分間の動態を、粒径分画法と炭素および窒素安定同位体法を用いて調べた。表層土壌中の土壌有機炭素は、粘土画分に最も多く存在し、シルト画分、砂画分の順に減少した。また、C/N 比と炭素および窒素安定同位体比の結果から、粘土画分中の土壌有機物は最も腐植化が進行していることが示された。このことから、粘土画分中に存在する土壌有機炭素が長期的な炭素循環を考える上で重要であることが示された。各粒径画分中の土壌有機炭素の量、割合および濃度と気候因子との関係は、単相関分析の結果から降水量との間に正の相関が認められた。各粒径画分間の動態、特にシルト画分から粘土画分への分解過程について、炭素および窒素安定同位体比から検討した結果、粘土画分とシルト画分中の窒素安定同位体比の差と年降水量との間に正の相関が示された。このことから土壌有機物の動態は、気候により分解過程が異なることが示唆された。

最後に、土地利用形態の違いが表層土壌中の土壌有機炭素の存在形態に及ぼす影響を明らかにするため、放牧の有無や耕作放棄後の年数のように土地利用履歴が異なる近接した地点間での比較を行った結果、放牧排除および耕作放棄後の年数が長いほど、表層土壌中の有機炭素量の増加、特に粘土画分中の有機炭素量が増加することが示された。さらに、全地点の粘土およびシルト画分中の有機炭素量と粘土およびシルト含量との関係を、自然草原での粘土およびシルト粒子に吸着できる有機炭素量の最大値を示す **Protective capacity (PC)** と比較した結果は、湿潤地域では、いくつかの地点を除いて、粘土およびシルト画分中の有機炭素量が最大値に達しているのに対し、乾燥地域では、PC 以下の値を示す地点が多く認められた。この結果から、乾燥地域は、元々少ない降水量の上で成立している生態系であるため、一度外から圧力が加えられると、その回復能力は小さいことが示唆された。

以上の結果から、ユーラシア大陸ステップ表層土壌中の土壌有機炭素量および動態について、下記のように結論された。

- 1) ユーラシア大陸ステップでは、乾燥による植生および粘土含量の減少の結果、土壌有機炭素量は減少し、その減少は存在形態に関わらず、全ての画分において減少することが示された。さらに、土壌有機炭素量だけでなく、粒径画分間の分解過程は、気候によって異なることが示唆された。
- 2) 土地利用の違いによる土壌有機炭素への影響は、粘土画分中の土壌有機炭素量に示され、特に乾燥地域では、粘土およびシルト画分中の有機炭素量が粘土およびシルト含量に対して少なく、耕作や放牧による減少と回復速度が遅いことが考えられた。

## 目次

第1章 序論.....	1
第2章 ユーラシアステップ概況 .....	6
2-1. 地形および表層地質 .....	6
2-2. 気候および植生 .....	6
2-3. 土地利用形態 .....	7
第3章 調査地概況と試料および方法 .....	10
3-1. 調査地概況 .....	10
3-2. 試料および方法 .....	11
3-2-1. 各国・地域の土壤断面形態、理化学性の特徴および土壤型 .....	11
3-2-1-1. 土壤断面調査 .....	11
3-2-1-2. 土壤断面試料の理化学性 .....	11
3-2-1-3. 土壤分類 .....	12
3-2-2. 表層土壤中の土壤有機炭素および窒素の存在形態および性質 .....	12
3-2-2-1. 粒径分画 .....	12
3-2-2-1(1) 超音波処理の校正および設定 .....	12
3-2-2-1(2) 粒径分画に使用する超音波強度の設定 .....	13
3-2-2-1(3) 各地点表層試料を用いた粒径分画 .....	13
3-2-2-2. 各粒径分画中の有機炭素、全窒素量および $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ .....	14
3-2-3. 統計解析 .....	14
第4章 結果および考察.....	23
4-1. ウクライナハリコフ州の耕作放棄地における土壤断面形態および表層土壤の諸性質 .....	23
4-1-1. 土壤断面形態 .....	23
4-1-2. ウクライナ土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成 .....	27
4-1-3. 表層土壤における各粒径分画中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成 .....	27
4-2. カザフスタンにおける土壤断面形態および表層土壤の諸性質 .....	36
4-2-1. 土壤断面形態 .....	36
4-2-2. カザフスタン土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成 .....	43
4-2-3. 表層土壤における各粒径分画中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成 .....	44
4-3. 中国新疆ウイグル自治区における土壤断面形態および表層土壤の諸性質 .....	56
4-3-1. 土壤断面形態 .....	56
4-3-2. 中国新疆ウイグル自治区土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成 .....	60
4-3-3. 表層土壤における各粒径分画中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成 .....	61
4-4. モンゴルにおける土壤断面形態および表層土壤の諸性質 .....	70
4-4-1. 土壤断面形態 .....	70
4-4-2. モンゴル土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成 .....	81
4-4-3. 表層土壤における各粒径分画中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成 .....	81
4-5. 中国内蒙古自治区における土壤断面形態および表層土壤の諸性質 .....	97
4-5-1. 土壤断面形態 .....	97
4-5-2. 中国内蒙古自治区土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成 .....	102
4-5-3. 表層土壤における各粒径分画中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成 .....	102
第5章 総合考察 .....	114
5-1. 気候と土壤型との関係 .....	114
5-2. 気候と表層土壤の諸性質との関係および土壤有機炭素量の規定要因 .....	114
5-2-1. 気候と土壤諸性質の関係 .....	114
5-2-2. 土壤有機炭素量の規定要因 .....	115
5-2-2-1. 気候および植物バイオマス量と土壤有機炭素量との関係 .....	115
5-2-2-2. 土壤有機炭素量に及ぼす粘土含量の影響および他大陸の草原地域との比較 .....	116
5-3. 気候と表層土壤中の土壤有機炭素および全窒素の存在形態およびその動態の関係 .....	117
5-4. 土地利用形態の違いが表層土壤中の土壤有機炭素の量および存在形態に及ぼす影響 .....	117

謝辭 .....	128
引用文獻 .....	129

## 図目次

図 2-1 ユーラシアステップの地形 .....	8
図 2-2 ユーラシアステップの植生 .....	9
図 3-1 ユーラシアステップの全調査地点 .....	15
図 3-2 ウクライナ調査地点 .....	16
図 3-3 カザフスタン調査地点 .....	17
図 3-4 中国新疆ウイグル自治区調査地点 .....	18
図 3-5 モンゴル調査地点 .....	19
図 3-6 中国内蒙古自治区調査地点 .....	20
図 3-7 超音波の設定レベルの違いによる時間と出力の関係 .....	22
図 3-8 超音波時間の違いによる粒径組成の変化 .....	22
図 4-1-1 ウクライナハリコフ州の土壌断面写真および景観写真 .....	29
図 4-1-2 ウクライナ表層土壌の粘土鉱物組成 .....	32
図 4-1-3 ウクライナ表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量 .....	34
図 4-1-4 ウクライナ表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合 .....	34
図 4-1-5 ウクライナ表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{13}\text{C}$ .....	35
図 4-1-6 ウクライナ表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{15}\text{N}$ .....	35
図 4-2-1 カザフスタンの土壌断面写真および景観写真 .....	45-46
図 4-2-2 カザフスタン表層土壌の粘土鉱物組成 .....	51-52
図 4-2-3 カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量 .....	54
図 4-2-4 カザフスタン表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合 .....	54
図 4-2-5 カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{13}\text{C}$ .....	55
図 4-2-6 カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{15}\text{N}$ .....	55
図 4-3-1 中国新疆ウイグル自治区の土壌断面写真および景観写真 .....	62-63
図 4-3-2 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の粘土鉱物組成 .....	66
図 4-3-3 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量 .....	68
図 4-3-4 中国新疆ウイグル自治区表層土壌全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合 .....	68
図 4-3-5 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{13}\text{C}$ .....	69
図 4-3-6 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{15}\text{N}$ .....	69
図 4-4-1 モンゴルの土壌断面写真および景観写真 .....	82-84
図 4-4-2 モンゴル表層土壌の粘土鉱物組成 .....	91-92
図 4-4-3 モンゴル表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量 .....	94
図 4-4-4 モンゴル表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合 .....	94
図 4-4-5 モンゴル表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{13}\text{C}$ .....	95
図 4-4-6 モンゴル表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{15}\text{N}$ .....	95
図 4-5-1 中国内蒙古自治区の土壌断面写真および景観写真 .....	103-104
図 4-5-2 中国内蒙古自治区表層土壌の粘土鉱物組成 .....	109
図 4-5-3 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量 .....	111
図 4-5-4 中国内蒙古自治区表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合 .....	111
図 4-5-5 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{13}\text{C}$ .....	112
図 4-5-6 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径画分中の $\delta^{15}\text{N}$ .....	112
図 5-1 ユーラシアステップ土壌の土壌型と断面形態の特徴 .....	119
図 5-2 ユーラシアステップ土壌の有機炭素量と粘土含量との関係 .....	121
図 5-3 有機炭素量と粘土含量との関係のユーラシアステップ土壌と他草原との比較 .....	122
図 5-4 粘土画分とシルト画分中の $\delta^{13}\text{C}$ および $\delta^{15}\text{N}$ の差 .....	123
図 5-5 半乾燥地域( $0.2 < \text{AI} < 0.5$ )における土地利用履歴別の表層土壌中の有機炭素量の比較 .....	125
図 5-6 耕作放棄年数および放牧圧の異なる地点における各粒径画分中の有機炭素量の比較 .....	126
図 5-7 ユーラシアステップ表層土壌の Protective capacity .....	127



## 表目次

表 3-1	調査地概況 .....	21
表 4-1-1	ウクライナハリコフ州周辺土壌の土壌断面形態 .....	30
表 4-1-2	ウクライナ土壌断面の理化学性.....	31
表 4-1-3	ウクライナ表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ .....	33
表 4-2-1	カザフスタン土壌の土壌断面形態 .....	47-48
表 4-2-2	カザフスタン土壌断面の理化学性 .....	49-50
表 4-2-3	カザフスタン表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ .....	53
表 4-3-1	中国新疆ウイグル自治区土壌の土壌断面形態 .....	64
表 4-3-2	中国新疆ウイグル自治区の土壌断面の理化学性 .....	65
表 4-3-3	中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ .....	67
表 4-4-1	モンゴル土壌の土壌断面形態 .....	85-87
表 4-4-2	モンゴル土壌断面の理化学性 .....	88-90
表 4-4-3	モンゴル表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ .....	93
表 4-5-1	中国内蒙古自治区土壌の土壌断面形態.....	105-106
表 4-5-2	中国内蒙古自治区土壌断面の理化学性.....	107-108
表 4-5-3	中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および $\delta^{13}\text{C}$ , $\delta^{15}\text{N}$ .....	109
表 5-1	気候因子と表層土壌諸性質との関係.....	119
表 5-2	粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量および $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$ と気候因子との関係 .....	124

## 第1章 序論

ミレニアム生態系評価(2005)によれば、世界の陸地の 41 %が乾燥地に分類される。乾燥地は降水量が潜在蒸発散量を下回る地域として考えられており、年間降水量/年間可能蒸発散量が  $<0.65$  と定義されている(木村, 2007)。この乾燥地域では、自然生態系の破壊から引き起こされる砂漠化が問題となっており、世界の主要な環境問題のひとつとされる。

砂漠化から引き起こされる問題のひとつに土壤炭素蓄積量の減少および大気への放出が上げられる。砂漠化している土地の割合は年間 5.8 Mha、現在までの砂漠化による炭素損失量は 19-29 Pg とされる。さらに乾燥地からの炭素放出量は  $0.227\text{-}0.292 \text{ PgC/year}$  と見積もられている。そのため、砂漠化の管理や荒廃した土壤や生態系の修復によって土壤の性質を改善することで、土壤および植物体の炭素量を増加し、大気への炭素放出量を減少させることが求められている。特に、適切な種を用いた植物による被覆、灌漑設備を利用した水利用効率の改善、土壤肥沃度改善のための栄養素管理方法の発達、改善した農地システムの適用などを行うことにより砂漠化の管理や土壤の修復は可能である(Lal, 2001)。

また、土壤炭素は土壤有機物の主要な構成元素のひとつであり、土壤有機物は生態系内の養分循環、土壤構造形成、水分保持、化学物質の解毒や土壤微生物の栄養源といった様々なプロセスに重要な役割を果たしている(Olk and Gregorich, 2006; Stevenson, 1982)。そのため、生態系の持続可能な利用のためには土壤有機物は必要不可欠な要素である。しかし、乾燥地の多くは劣化した土壤の上に存在するため、その土壤は非常に多くの炭素を失っている。それゆえ、乾燥地の修復を通じた炭素循環の能力は重要である(FAO, 2004)。

地球温暖化の生態系への影響および将来予測のために、土壤中での土壤有機物動態を明らかにすることが重要であると考えられる。しかし、地球規模の炭素循環への砂漠化の影響や乾燥地生態系の炭素循環の砂漠化管理の潜在的な影響については広く研究された例はない。

砂漠化が懸念される地域として、草原がある。草原は地球上の陸地の全面積の 3 分の 1 を占めており、この生態系は降水量が約 250 mm – 500 mm の半乾燥地域に分布しており、森林－草原－砂漠の生態系移行帯に位置するため、環境変化や人為影響に対して敏感である(Miegroet et al., 2005, Pogue and Schnell, 2001)。また、草原は炭素シンクとして注目されており、草原における植物と土壤の炭素蓄積量は  $634 \times 10^9 \text{ tC}$  であり、陸域全体のおよそ 30 %を占める(IPCC, 2000)。その中でも、土壤有機物は大陸内で最大の炭素貯蔵源とされ (Kogel-Knabner et al., 2008)、土壤からの炭素放出や土壤への炭素貯蔵は重要となっている(Krull et al., 2003)。そのため、草原の荒廃は大気中への二酸化炭素の放出から温暖化の促進へとつながっていく。

世界の代表的な草原のひとつであるユーラシアステップは、ハンガリーから中国満州里に至る広大な地域に分布しており、およそ 2 億 5 千万 ha のなだらかな起伏をもつ平原を形成している(Archibold, 1995)。ステップ中央部カザフスタンとモンゴルの境界で狭窄部ないし途切れる所がある。ここは北からアルタイ山脈が、南から天山山脈が迫り、標高が高いところとなっている。そして、この東と西とでは、植生の様子や種組成、それに植物相が大きく異なる。また、そこ

に暮らす人々の土地利用方法も異なる。西側では肥沃な土地で小麦などの農耕地として利用し、穀倉地帯として有名になっているのに対し、東側では基本的に羊などの家畜を放牧して生業をたてている(中村, 2007)。しかし、近年の作物需要量の増加や生活様式の変化による過放牧や耕作地への転換といった人為影響と地球温暖化などの環境変動から砂漠化が懸念されている地域である(Cheng and Nakamura, 2006)。

土壌有機物量は、土壌生成と同様に、時間・母材・地形・植生・気候によって決定され、これらの因子の中でも、気候は植生や微生物活性の量および組成に影響を及ぼすため、土壌中の有機物含量を決定する最も重要な因子のひとつである(Stevenson, 1982)。そのため、土壌有機物の存在量は気候帯に沿った値を示すことから、環境変化の影響を評価する指標として用いることが出来ることが示されている(Sarah, 2006)。しかしながら、土壌有機物量は気候だけでは簡単に説明できない。その理由は、土壌有機物は無機物との結合によって微生物分解から守られ、無機化を阻止されるため、気候が同じであっても有機物量が異なることがある。

土壌有機物の大部分は無機物と結合して存在しているため、無機物特性(粒径、鉱物組成とその量など)は土壌有機物の安定化に影響を及ぼす(Baldock and Skjemstad, 2000)。そのため、無機物因子は土壌有機物蓄積量を決定する重要な因子である。同時に無機物は土壌有機物を土壌中に安定にとどめておくために重要である。

土壌有機物の保持に関与している主要な要因のひとつに粘土との結合が上げられる。これらの結合は無機物と結合していない有機物よりも生物分解を受けにくいとされる(Christensen, 1996)。また、粘土粒子は有機物を吸着することができる活性な部位の比重や種類や粘土が安定に凝集した状態で維持される範囲の効果を通して、有機物の保護に影響を及ぼす(Baldock and Skjemstad, 2000)。結果的に、土性とともに粘土含量は土壌炭素の代謝回転速度のモデルにおいて有機物の滞留時間を決定する変数として広く使用されている(Smith et al., 1997)。粒径組成が有機物集積に重要な要因となることは、土壌中の粘土含量と有機炭素含量との間の正の相関により示されている(Nichols, 1984)。しかし一方で、McDaniel and Munn (1985)、Percival et al. (2000) および Sims and Nielsen (1986)は、粘土含量が土壌炭素の変動に関与していないと述べた。この対照的な結果は、粘土含量以外の因子が有機物を守るためによりよい土壌の能力であるのかもしれないことを示している(Anderson, 1995)。

他の因子として、粘土鉱物組成とそれぞれの存在量も土壌有機物蓄積量を決定するために非常に重要である(Torn et al., 1997)。結晶性または非晶質ケイ酸塩鉱物は、種類によって吸着量が異なり、各粘土鉱物に吸着した有機物は代謝回転速度や分解量が異なる。結果、土壌中に優占して存在している粘土鉱物の組成によって土壌有機物蓄積量が異なる(Feller and Beare, 1997)。

このように、気候以外に粘土含量やその粘土鉱物の組成は土壌有機物保持にとって重要な因子であり、有機物量を規定している要因を明らかにすることで環境変化による有機物変化を予測することが可能となる。特に、気候によって影響される土壌有機物動態を理解する事は、持続可能な土地利用をするために必要不可欠なことである(Amelung et al., 1997)。

ここで、土壌中での土壌有機物の安定化に関わる機能として、von Lutzouw et al. (2006)は 3

つの機能を述べており、1. 化学構造に起因する難分解性、2. 分解者が利用できない物理的な安定化、3. 無機物との相互作用による化学的安定化をあげている。しかし、Marschner et al. (2008)は、有機物自体の微生物分解に対する耐性が土壌有機物の安定化の主要因であるかを検討した結果、個々の有機物自体に耐性があるという知見は得られず、唯一炭化物(Black C)と化石炭素(Fossil C)のみがそれ自身のみで耐性があると述べた。一方、無機物との結合に関しては未だ十分な理解は得られていない(Basile-Doelsh et al., 2009)。そのため、安定化を理解するためには有機-無機複合体の性質、存在形態を把握する必要がある。

土壌有機物は、構造、機能、代謝回転速度の異なるいくつかの画分に分けられることが知られている。そして、土壌有機物蓄積量の変化を予測するモデルを構築するためには、各々の画分を量や性質を特徴づける必要があり、古くから多くの分画方法が特徴的な土壌有機物画分を分画、分析するために発展してきた(von Lutzow et al., 2007)。

乾燥地での侵食は大きな問題であり、侵食は土壌中の細粒子を移動させ、さらに侵食によって損失するような細粒質画分は肥沃であるため土壌の生産性を減少させる。中国北部の砂漠化が進行している耕作地では、砂漠化の進行程度が進むにつれ、砂含量が 69-93 %に増加するとともに、有機炭素および全窒素量がそれぞれ 65 %, 69 %まで減少した(Su et al., 2004)。また、Zhao et al. (2009)は砂漠化の程度が異なる地点を比較した結果、砂漠化が進行するにつれ、細粒質物質(粘土+シルト)含量の減少およびこれらの画分中に含まれる有機炭素量および全窒素量も減少の結果、粘土+シルト画分中に含まれる有機炭素および全窒素量の全有機炭素量と全窒素量に対する割合も減少することを示した。このように、乾燥地での砂漠化している土壌での土壌有機物の損失は生化学反応による無機化だけでなく、物理的な剥離が付随して起こる。そのため、乾燥地の土壌炭素動態の変化を追うための分画方法として、物理的分画法は有効と考えられる。その中でも、粒径分画法は組成や構造などの質や代謝回転速度が異なる土壌有機物を区別することが可能であるため(Christensen, 1992)、砂漠化が起きている草原での土壌炭素動態を理解するためには適当な方法と考えられる。

さらに、プレーリーやパンパなどの草原では、有機物蓄積量は粘土含量との相関が認められているように粘土画分中の有機物が重要であると考えられ、粘土-有機物複合体の動態を理解することが荒廃した土地の修復や草原の管理に必要であると考えられる。一方で、土壌有機物の分解量は、有機-無機複合体の潜在的な生物の利用能力は粒径が小さくなるほど増加し、有機物の無機化量は粘土画分からの寄与に支配される(Christensen, 2001)。Kadono et al. (2008)は、ウクライナおよびカザフスタン土壌の潜在的な炭素と窒素無機化量を土壌特性値と気候因子の解析から、軽比重(<1.6 g/cm<sup>3</sup>)画分中の炭素および窒素量と粘土含量に規定されていることを示した。このように、粘土画分中の土壌有機物は分解されうる環境下におかれた場合、微生物による分解を受けやすいため、環境変化による影響も受けやすいと考えられる。

各粒径画分中の有機炭素量の割合は、温帯の耕作地において、粘土画分 50-75 %、シルト画分 20-40 %、砂画分 10 %以下とされている(Christensen, 2001)。粘土+シルト画分で全有機炭素量の 90 %以上を占める。

各画分中の有機炭素量と気候との関係について、Tate and Churchman (1978)は、ニュージーランドの草原地帯で降水量が増加するにつれ、砂画分中の有機炭素量が増加することを示した。一方、Amelung et al. (1998)は北アメリカ大陸のプレーリーにおいて、気温が増加、降水量が減少、粘土含量が減少するにつれ、全有機炭素濃度に対する粘土画分中の有機炭素濃度が増加することを示した。そして、土壌有機物動態への気候の影響を評価するためには粘土画分が特に有効であると述べた。

量以外にも有機物組成は気候の違い、代謝回転速度の違い、有機物安定化作用の違いによっても変化すると考えられるため、砂漠化によって土壌が変化することで蓄積している化学組成にも変化が表れていると考えられる。

ここで、土壌有機物の組成変化を見る手法の一つとして、炭素および窒素安定同位体( $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ )がある。土壌の有機炭素は生物(ほとんどが植物)であり、外からの持ち込みがなければ、その場における過去現在の植生のリターや根の植物遺体である。植物には  $\text{C}_3$  植物と  $\text{C}_4$  植物があり、前者由来の土壌有機炭素の  $\delta^{13}\text{C}$  値は  $-26 \sim -28 \text{ ‰} (\delta_{\text{C}_3})$  であり、後者は  $-12 \sim -14 \text{ ‰} (\delta_{\text{C}_4})$  である。この両植物由来炭素の  $\delta^{13}\text{C}$  値の差を利用して、土壌有機物動態に関する研究が多くなされてきた(米山, 2002)。その一つは土壌  $\delta^{13}\text{C}$  値から過去 10 万年前までの植生や遷移の状況を定量的に知ることであり、もうひとつは過去 50~100 年くらいの土壌炭素の代謝回転を知ることである(米山, 2008)。このように、土壌有機物中の炭素安定同位体比( $\delta^{13}\text{C}$  値)は、植物体の同位体比を反映するため、人為圧や気候変動による植生変化を評価することができる(Boutton, 1996)。また、植物体内での同位体分別だけでなく、土壌中において同位体分別が起こる。例えば、土壌有機物の腐植化による同位体分別や微生物体の  $\delta^{13}\text{C}$  値が土壌有機物全体よりも大きいこと(Boutton, 1996)などがある。

また、 $\delta^{15}\text{N}$  も同様に、値が大きいことは腐植化の程度が進んでいることを示す(Liao et al., 2006)、粘土画分と結合した土壌有機物の  $\delta^{15}\text{N}$  値はシルトおよび砂画分と結合した土壌有機物の  $\delta^{15}\text{N}$  値よりも大きい(Tiessen et al., 1984)などのように、土壌有機物の  $\delta^{15}\text{N}$  値は腐植化の指標となりうる。このように安定同位体を用いることで、砂漠化による土壌有機物動態の変化、腐植化の程度の変化を見ることが出来る。

$\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  は気候によって値が異なることが明らかとなっているが、土壌全体だけでなく、分画した試料における分布や変化を広域的に評価した例はない。また、その画分間の変動が気候によって変化するか検討することにより気候帯ごとの有機物循環の変動を見ることが可能となると考えられる。

気候以外に土壌有機物の配分に影響を及ぼす例として、土地利用や耕作は有機無機複合体中の有機物量に影響を与える(Christensen, 2001)。逆に、耕作放棄からの回復過程での変化を追った例として、Kalinina et al. (2011)はロシアの耕作放棄地での回復過程、Desjardins et al. (2006)はアルゼンチンで米の耕作放棄地からの回復過程、He et al. (2009)は中国で放牧排除からの回復過程について研究を行い、15 年で自然草原と同じ状態になるものから 59 年でも回復しない例もある。このように、それぞれの画分中の有機炭素量は全有機炭素量と同様に気候と関連してお

り、また、土地利用の違いによってその配分はことなることがわかる。そのため、ステップを広域的に比較した場合、気候による差が認められる一方、草原の不適切な利用などの人為活動による砂漠化によっても変化することが予想される。

長期間、人為活動に影響を受けていない草原は供給と分解のバランスが平衡に達していると考えられる。このことから、Hassink (1997) は、未耕作の草原や草原が長期間維持されている地点では、粘土とシルトに吸着している有機物量は最大値に達していると仮定し、**protective capacity** を提案、有機炭素量の値を予測する式を考えた。その結果、粘土とシルト画分中に存在している有機物量は、**SOC in clay + silt fractions = 4.09 + 0.37 ×% clay + silt particles** (SOC: 土壌有機炭素量, clay: 粘土, silt: シルト)の式で表され、オーストラリアの乾燥地帯を除いて、温帯および熱帯の広い範囲で適用されることを示した。つまり、**protective capacity** と実測値を比較することで、草原への人為影響がどの程度であるのかを評価することができる。

以上のことから、粒径別画分中の土壌有機物量は、気候の違いにより、その割合が変化し、さらに、人為活動によっても同様に変化することがわかる。しかし、降水量の多い地域での例が多く、乾燥から半乾燥地においても同様の結果が示されるかどうかは疑問である。そこで、世界全体で使用できるようなモデルを作るためにも、これらの結果がステップにおいても適用可能であるか検証する必要がある。

このように、土壌有機物の詳細を理解することが求められると同時に生態系の修復や砂漠化の変化予測を行うために土壌有機物の研究は必要である。そして、気候または植生が異なる地点を比較することで砂漠化プロセスを明らかにすることができると考えられる。本研究のようにユーラシア大陸ステップ全体を広域的にかつ横断的に現地調査によって比較する研究例は世界的に見ても皆無に近い。また、地球規模の問題を考える上で、広域データを示すことは重要である。

以上に述べたことを背景として、本研究では、ユーラシアステップを広域的に調査することで、有機物量を規定している要因を示し、その要因の変化によって有機物の分布や性質がどのように変化するかを明らかにすることで、砂漠化によるユーラシアステップの有機物変化を予測することを目的とした。特に、持続可能な利用のために必要不可欠な粘土有機複合体について検討した。

そのために、まず、第 2 章でユーラシアステップの自然環境と土地利用の現状、第 3 章で本研究で用いた土壌試料と分析方法について述べた後、第 4 章において、ユーラシアステップが位置しているウクライナ、カザフスタン共和国、中国新疆ウイグル自治区、モンゴル国および中国内蒙古自治区の土壌および表層土壌の諸性質について、国・地域に分けて述べた。そして、第 5 章では、各国・地域で得られた特性を総合的に考察することで、ユーラシアステップ全体の土地利用、気候および粒径組成の土壌有機物への影響について検討した。

## 第2章 ユーラシアステップ概況

### 2-1. 地形および表層地質

ユーラシアステップは、ハンガリーから中国満州里に至る広大な地域に分布しており、およそ2億5千万haのなだらかな起伏をもつ平原を形成している(Archibold, 1995)。ユーラシア中央部のカザフスタン、中国新疆ウイグル自治区、モンゴルおよびロシアの国境付近では、南に天山山脈、北にアルタイ山脈が位置しており、標高が高くなっている(図2-1)。

土壌母材としては、ユーラシアステップ西部の黒海北部にはレスが分布している(FAO/Unesco, 1981)。レスは、西経5°のフランス北部から東経140°のオホーツク海沿岸、緯度にして北緯45°から60°の範囲に広く分布しており、このほか、沙漠レスが北緯25°から50°に分布する(成瀬, 2009)。一方で、ユーラシアステップ東部から中西部、中国内蒙古自治区からカザフスタン中西部にかけては、固結碎屑岩堆積物(砂岩、シルト岩、頁岩、礫岩)が帯状に広く分布する中に、固結炭酸塩堆積物(石灰岩、苦灰岩、泥灰岩)、酸性の深成岩やレスがスポット状に分布する複雑な様相を呈している。また、ユーラシア大陸中央部の天山山脈やアルタイ山脈に囲まれた標高の高い地域では、比較的新鮮な河川・湖沼堆積物が東西に跨って分布している中に、移動砂丘がスポット状に分布している(FAO/Unesco, 1978)。

### 2-2. 気候および植生

ユーラシア大陸の内陸部には、広大な乾燥または半乾燥地域が大陸全体に広がっている(図2-2)。北部の亜寒帯の森林地帯と南部の砂漠の間にあるこの地域は、広大な草原生態系により構成されており、気温よりも低い降水量により成り立っている(FAO, 2006)。このユーラシアステップが形成された時期は、ユーラシア大陸の様々なタイプの森林群集が更新世以前にその分布域を広げ、現在のステップ草原の分布域に森林ステップを発達させた後、氷河が発達した乾燥気候の時代に森林が混在する短茎ステップ草原は分布を拡大し、更新世の終わりまでに北フランスから満州平原まで続く帯状のステップが形成されたと考えられている。花粉分析の結果では、この地域には当時ヨモギ属の植物が分布しており、この地域が冷涼で乾燥していたことを示している(小泉ら, 2000)。

このユーラシアステップの植生は、イネ科群落が優占しており、中でも属群落では、*Stipa* 属群落と *Leymus* 属群落が優占している (Hayashi, 2003)。

さらに、ユーラシアステップの植生群落をさらに詳細に区分するため、Cheng (2008)は、ユーラシアステップが位置しているウクライナ、カザフスタン、モンゴルおよび中国内蒙古自治区の植生群落を植物社会学的方法により群落区分を行った。その結果、ユーラシアステップは、カザフスタンとモンゴルの境界に位置しているアルタイ山脈を挟み、西側では *Festuca sulcata* で特徴づけられるクラス、東側では *Stipa krylovii* で特徴づけられるクラスに分類され、ユーラシアステップの植生群落は大きく2つに分けられた。これは、標高の高い山脈により植物の移住が妨げられたため、植生の発達・進化過程が異なる進化・発達過程になった。

Suzuki et al. (2012)は、地理的に標高の高いアルタイ山脈や天山山脈が位置している中国新疆ウイグル自治区やモンゴル西部の植生群落について、*Stipa* 属と *Artemisia* 属が優占しており、*Stipa capillata*群落と *Artemisia cristatum*群落はそれぞれユーラシアステップ東部および西部と異なること、*Convolvulus lineatus* 群落、*Elymus mutabilis* 群落、*Anabasis brevifolia* 群落、*Nanophyton erinaceum* 群落はこの地域独自の群落であり、それぞれの群落の分布は乾燥と標高によって特徴づけられることを示した。このように、ユーラシア大陸中央部では独自の植物群落が存在している。

### 2-3. 土地利用形態

西側では肥沃な土地で小麦などの農耕地として利用し、穀倉地帯として有名になっているのに対し、東側では基本的に羊などの家畜を放牧して生業をたてている(中村, 2007)。

例えば、ユーラシア大陸西部のカザフスタンの農牧業は、旧ソビエト連邦による影響が強く、20世紀以降、社会経済体制の変化に伴い大きく変動してきた。1923年～1933年に遊牧民に強制的定住化と全面的農業集団化が実施され、その中でコルホーズが創出された。その後も農業生産拡大のために様々な事業が展開され、ソ連の食糧基地としての役割を果たした。しかし、1991年のソ連崩壊後、農業改革が行われ、その過程で農業生産の縮小が起こった。その後、カザフスタン農業は停滞を続けていたが、1999年以降回復過程に入ったとされている(渡邊ら, 2011)。

一方、ユーラシア大陸の東部に位置しているフロンバイル地域(47°20'~50°12'N, 118°31'~121°03'E)は中国内蒙古自治区北東部に位置し、250,000 km<sup>2</sup>の面積を有し、その内833,00 km<sup>2</sup>が利用可能な草原である。北はロシア、西はモンゴル国、東に大興安嶺に接し、東西の標高が高く、中心部は相対的に低い。広大で典型的なフロンバイル草原には、湿地、川、湖が豊富にあり、多様な草原生態系が展開する。フロンバイル草原を流れるヘルレン川は、モンゴルから入境し、フロン湖へと注いでいる。本草原は、放牧地として、何世紀もの間、遊牧民によって利用されてきた。草本の質、量がともに優れているため、中国北部における放牧と飼料採集の中心的な場所になっている。しかし、近年、定着農業の振興とともに、過放牧や過耕作が生じ、土壌侵食や砂漠化が増加し、放牧地の草本の質や生産性が明らかに悪化し、現在、草原劣化地域は400万ha以上に達していると言われる(Wang, 2004, Compiling Committee of Control of Grassland Pests in Hulunbeier, China, 2004)。



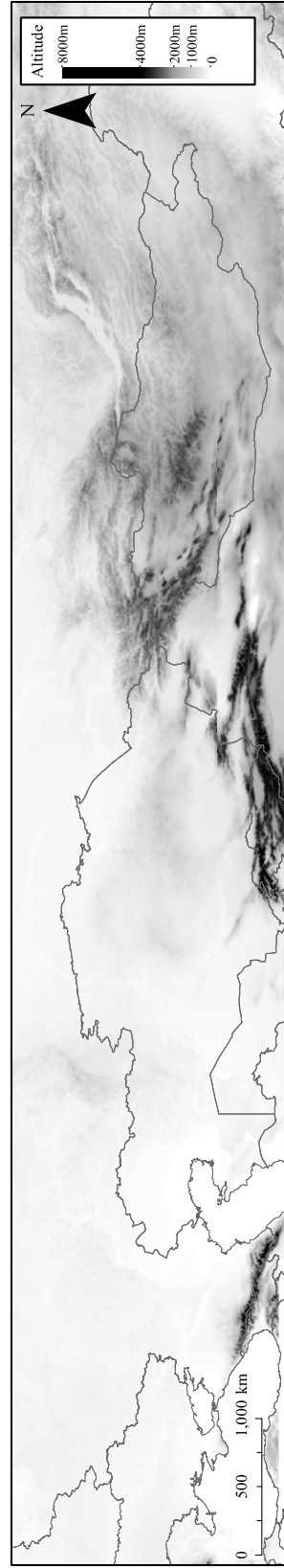


図 2-1 ユーラシアステップの地形

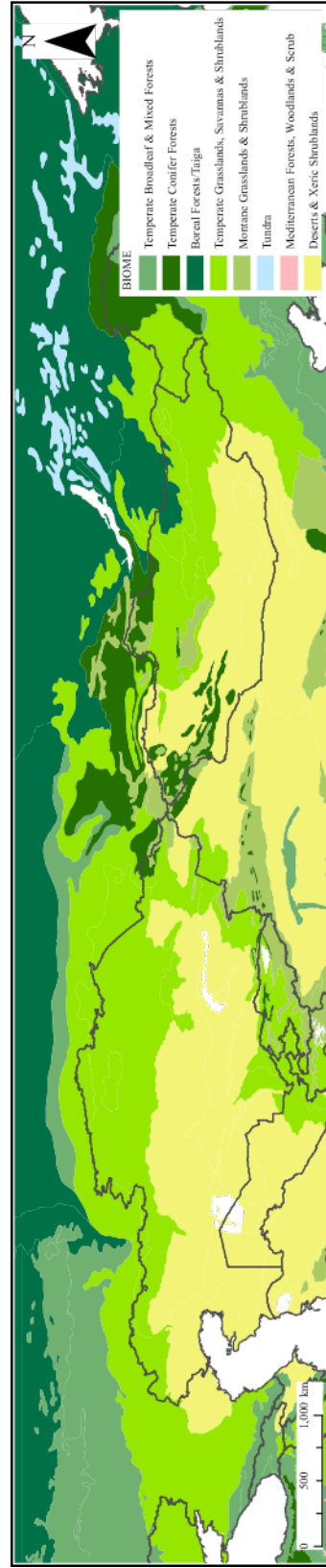


図 2-2 ユーラシアステップの植生

(Data from <http://www.worldwildlife.org/publications/terrestrial-ecoregions-of-the-world>)

### 第3章 調査地概況と試料および方法

#### 3-1. 調査地概況

本研究では、ユーラシアステップが分布するウクライナ、カザフスタン、モンゴル、中国内蒙古自治区および同新疆ウイグル自治区の各国・地域において、代表的な草原植生が分布している地点を選定し、土壌断面調査を行った。調査地点の選定の際には、主に植生の草丈および優占種を基準に予備調査を行ない、その地域を代表する植生が分布している地点を選定した。調査地点数は、ウクライナ 4 地点(U-1~U-4)、カザフスタン 10 地点(K-1~K-10)、中国新疆ウイグル自治区 7 地点(X-1~X-7)、モンゴル 15 地点(M-1~M-15)および中国内蒙古自治区 7 地点(I-1~I-7)の合計 43 地点である(図 3-1)。各国・地域の調査地点について、ウクライナは図 3-2、カザフスタンは図 3-3、中国新疆ウイグル自治区は図 3-4、モンゴルは図 3-5、中国内蒙古自治区は図 3-6 に示した。

調査地の概要について表 3-1 に示した。気温および降水量データは、WorldClim (Hijmans et al., 2005)から引用した。調査地の年平均気温は、-4.5℃から 8.2℃、年降水量は、118 mm から 621 mm の範囲を示し、気温と降水量ともに、ユーラシアステップの東から西に向かって、増加する傾向にある。Aridity Index (AI)は、CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information (Zomer et al., 2006)から引用した。UNEP (1997)による AI 値の気候区分に従うと、本研究調査地点は、乾燥地域 4 地点(0.03-0.2)、半乾燥地域 33 地点(0.2-0.5)、乾燥亜湿潤地域 1 地点(0.5-0.65)および湿潤地域 5 地点(>0.65)であった。

標高は 114 m~2300 m と標高差が大きく、天山山脈やアルタイ山脈が位置しているユーラシアステップ中央部の中国新疆ウイグル自治区では 917 m~2049 m、モンゴル中部および西部では 1401 m~2300 m と、標高が高い地形となっている。

優占種にはイネ科(*Stipa capillata*, *S. glareosa*, *S. gobica*, *S. grandis*, *S. krylovii*, *Bothriochloa ischaemum*, *Bromopsis inermis*, *Bromus inermis*, *Calamagrostis epigeios*, *Cleistogenes songorica*, *Festuca sulcata*, *Helictotrichon desertorum*, *Koeleria cristata*, *Leymus chinensis*, *Poa pratensis*) が多くの地点で認められ、特にユーラシアステップに優占する代表的な植物である *Stipa* 属(*Stipa capillata*, *S. glareosa*, *S. gobica*, *S. grandis*, *S. krylovii*) が多く優占していた。その他に、キク科(*Artemisia frigid*, *A. obtusiloba*, *A. schrenkiana*, *A. vulgaris*, *Seriphidium borotalense*)、ユリ科(*Allium polyrhizum*)、アカザ科(*Kochia prostrata*)、アブラナ科(*Berteroa incana*)、カヤツリグサ科(*Carex korshinskyi*)、バラ科(*Potentilla acaulis*) およびマメ科(*Caragana pygmaea*)が優占種として認められた。

調査地選定の際、各地点での気候を反映した植生の地点を選別するため、なるべく人為影響の少ない地点を選定したが、ユーラシアステップの大部分が遊牧や耕作地として利用されているように、聞き取り調査の結果、本研究調査地は、自然保護区 2 地点を除き、放牧地(25 地点)、禁牧地(5 地点)、採草地(1 地点)、耕作放棄地(10 地点、内 1 地点はスキー場跡地)を含み、多くの地点が現在または過去において利用されている地点であった。

## 3-2. 試料および方法

### 3-2-1. 各国・地域の土壌断面形態、理化学性の特徴および土壌型

#### 3-2-1-1. 土壌断面調査

土壌断面調査は、「土壌調査ハンドブック改訂版」(日本ペドロジー学会編, 1997)に従った。

調査は植生の生育状況が良い7月～8月の期間に行い、ウクライナでは2003年7月25日～8月6日(U-1～U-4)、カザフスタンでは2004年7月7日～7月20日(K-1～K-4)および2007年7月27日～8月5日(K-5～K-10)、中国新疆ウイグル自治区では2009年7月7日～7月21日(X-1～X-7)、モンゴルでは2005年7月5日、6日(M-1, M-2)、2008年7月5日～7月21日(M-3～M-9)および2010年7月5日～7月17日(M-10～M-15)、中国内蒙古自治区では2006年7月1日～7月8日(I-1～I-4)と2009年24日～29日(I-5～I-7)に行った。

本研究では、ウクライナ(U-1～U-4)、カザフスタン(K-1～K-4)およびモンゴル(M-1, M-2)の土壌断面調査結果については、Yamamoto and Tamura (2004)、Tamura and Takuwa (2005)およびTamura and Asano (2006)を引用した。

#### 3-2-1-2. 土壌断面試料の理化学性

土壌試料は、各調査地において土壌断面調査を行った際、土壌断面観察と同時に層位ごとに採取した。pH(H<sub>2</sub>O)を、土壌：液比が1:2.5の条件で、ガラス電極法により測定した。有機炭素および全窒素量は、風乾試料を風乾細微土(<0.5 mm)に再調製した後、有機炭素量をチューリン法(土壌標準分析・測定法委員会編, 1986)により定量し、全窒素量をNCアナライザー(住化分析センター製 SUMIGRAPH NC-900)を用いて、乾式燃焼法により定量した(土壌環境分析法編集委員会, 1997)。無機炭素量は、酸中和法により測定し、炭酸カルシウム当量として算出した(International Soil Reference and Information Centre, 2002)。粒径組成は、はじめに過酸化水素による有機物分解後、表層試料については酢酸－酢酸ナトリウム緩衝液(pH=5.0)、表層試料以外については0.1 M HClによる炭酸塩処理を行った。その後、超音波および水酸化ナトリウムによるpH調整(pH9-10)で試料を分散後、ピペット法により定量した。

地点 M-10～M-15 および I-1～I-4 の交換性塩基量は、それぞれ、村本ら(1992)の振とう浸出法および Schollenberger 法により、交換性塩基(Na, K, Ca, Mg)を CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub> 溶液(1mol/L, pH7)で抽出し、原子吸光度法(島津製作所製 AA-6200)で定量した。同試料の CEC は、交換性塩基の抽出残渣を80%エタノールで洗浄後、吸着 NH<sub>4</sub><sup>+</sup>を KCl(1mol/L)によりイオン交換抽出し、ケルダール蒸留法で測定した。

その他に、各地点の表層試料のみについては、上で記した分析以外に、以下の分析を行った。粘土鉱物組成の推定のため X 線回折分析は、まず、粒径組成分析の際、粘土とシルトの定量後、上澄みが透明になるまで粘土を繰り返し回収した。回収した粘土試料は、飽和 NaCl 溶液を加えて沈殿させた後、脱鉄処理と酢酸マグネシウムと酢酸カリウム溶液による飽和处理を行い、Mg 飽和および K 飽和試料の定方位試料をそれぞれ作成した。X 線回折は、理学電機社製 X 線回折装置(RIGAKU Gaiger Flex-2012)を用いて、Cu-Kα 線で、40kV、25 mA、スキャンスピード

2°min<sup>-1</sup>の条件で行った。次に、結晶性 Fe 酸化水酸化物(Fe<sub>ad</sub>)、非晶質ないし準晶質の Fe, Al 酸化水酸化物(Fe<sub>o</sub>, Al<sub>o</sub>)、有機物結合 Fe, Al, Ca を、ジチオナイト-クエン酸塩還元溶解法、酸性シュウ酸塩溶解法およびピロリン酸塩溶解法(土壤環境分析法編集委員会,1997)に従い、可溶性 Al, Fe, Ca を抽出し、ICP 発光分光分析装置(Perkin Elmer 社製 Optima-7300DV)により定量した。

また、ウクライナ(U-1~U-4)、カザフスタン(K-5~K-10)および中国新疆ウイグル自治区(X-1~X-7)の土壤断面試料の分析結果の一部については、Yamamoto and Tamura (2004)、黒川(2009)および原田(2010)から引用した。

### 3-2-1-3. 土壤分類

土壤断面形態および理化学性の結果から、World reference base for soil resources 2006 (IUSS Working Group WRB, 2006)による土壤分類を行った。この際、理化学性分析の結果が不足している地点については、土壤断面形態と乾燥地土壤の特徴である Mollic 層および Calcic 層の有無の結果から土壤分類を行った。

## 3-2-2. 表層土壤中の土壤有機炭素および窒素の存在形態および性質

### 3-2-2-1. 粒径分画

#### (1) 超音波処理の校正および設定

粒径分画や比重分画などの土壤有機物の物理的分画を行う場合、土壤の分散方法や分散効率は非常に重要である。様々な分散方法が適用されている中でも、処理中に土壤有機物の性質が変化する可能性が低く、分散効率が良い点から、超音波処理によって分散させる方法が多く適用されている(Christensen, 1992)。しかしながら、超音波による土壤の分散処理は、装置によって分散効率が異なることに加え、処理時間、固液などの条件によって分散能力が異なるため、装置の校正や試料の分散状況をあらかじめ調べておくことが必要となる。そこで、超音波発生装置の出力強度を評価するため、Schmit et al.(1999)の方法に従い、超音波発生装置(東陽理工製作所製 UD-2N-400)の強度を調べた。以下に方法の概略を示す。

保温容器に蒸留水 200 ml または 680 ml を加え、超音波発生端子を下向きに端子の先端 15 mm を水中に入れ、超音波の出力設定を様々な出力、共振レベルに設定し、超音波処理前後の水温を処理時間を変えて測定した。換算式は以下の通りである。

$$P = mwcw\Delta T/t + H$$

$P$ : 出力(W),  $mw$ : 水重量(g),  $cw$ : the specific heat capacity of water (4.18 Jg<sup>-1</sup>K<sup>-1</sup>),  $\Delta T$ : 超音波処理前後の温度差(K),  $t$ : 超音波処理時間(s),  $H$ : 超音波処理の間のエネルギー損失(0.10 J/s based on North, 1976)。

この結果、超音波発生装置(東陽理工製作所製 UD-2N-400)の出力程度は、出力 80、共振 25

に設定した場合に十分な強度を得られた(図 3-7)。その後、超音波発生装置の出力 80、共振 25 の設定での強度校正は、1 月に 1 度行い、その出力強度は  $46.3 \pm 2.9$  W であった。

## (2) 粒径分画に使用する超音波強度の設定

超音波発生装置の出力設定が完了した後、土壌試料の完全分散に要する超音波処理時間を決定するため、粒径組成の異なる K-6(粘土含量 42%)と M-1(粘土含量 16%)を用いて評価を行った。

この際、処理中に超音波端子の破片の混入を避けるため、超音波端子を上向きにし、専用のステンレス容器を用いて超音波処理を行った。評価方法は、それぞれの土壌試料(<2 mm) 5 g と蒸留水 50 ml (土壌:水=1:10) を超音波処理専用ステンレス製コンテナに入れ、8, 12, 16, 18, 20, 22, 25, 30 分と様々な時間で超音波処理を行った後、それぞれの試料の粒径組成分析をピペット法で行った。測定は各時間 2 連で行った。

超音波処理後の粒径組成の結果を図 3-8 に示す。分析に用いた粒径組成の異なる 2 試料とも超音波処理時間が長くなるにつれ、粘土含量が増加し、シルトおよび砂含量が減少した。また、K-6(粘土含量 42%)では 20 分、M-1(粘土含量 16%)では 16 分の超音波処理を行うと、それぞれ処理後得られる粘土含量が 42%、16%に達した。この結果を踏まえて、粒径分画の際に適用する超音波強度を、 $859.4 \pm 38.0$  J/ml (粘土含量<30%)と  $1100.6 \pm 37.6$  J/ml (粘土含量>30%)に設定した。Kyuma et al. (1969)は、同様のタンク式装置を使用して、粘土含量 55.9%の LB(土壌:水=10 g:100 ml)で 20 分、粘土含量 35.6%の OK(土壌:水=20 g:200 ml)で 30 分間超音波処理をした結果、最大の分散が得られたことから、本研究(土壌:水=5 g:50 ml)の 16 分および 20 分間の超音波処理は妥当であったと考えられた。

## (3) 各地点表層試料を用いた粒径分画

各地点の A1 層試料を用いて、粒径分画を行った。以下に簡単に分画手順について示す。分散の際には、超音波処理のみで分散を行い、植物残渣などの浮遊物(軽比重画分)は除去せずに行った。土壌試料(<2 mm) 5 g と蒸留水 50 ml (土壌:水=1:10) を超音波処理用ステンレス製コンテナに入れ、超音波処理を上記の設定に従い行った。超音波処理後、ストークスの法則に従い、粘土画分(<2 $\mu$ m)を沈降時間ごとに液が透明になるまで回収をした。粘土画分をほぼすべて回収した後、同様にシルト画分(2-20 $\mu$ m)を回収し、残りを砂画分として回収した。回収後、シルトおよび砂画分は 60°C 36 時間乾燥し、粘土画分は、飽和 NaCl 溶液を加えて沈殿させた後、AgNO<sub>3</sub> による白色沈殿が認められなくなるまで透析し、凍結乾燥させた。粒径分画は各試料 2 連で行い、回収重量に差がないことを確認した後、試料が少量のため、2 連の試料を合わせ、各地点の粒径分画試料とした。

粒径分画後の重量回収率は、98.1%-100.2%(炭酸塩含量>3%の試料を除く)とほぼ全量回収された。しかしながら、炭酸塩含量が 3%以上の試料に関しては、94.1% - 97.2%と、他の試料と比較して低い回収率を示した。これは、炭酸カルシウムが交換性塩基を測定する際に用いられる CH<sub>3</sub>COONH<sub>4</sub>などの塩溶液に溶解するため(Amrhein and Suarez, 1990)、粘土画分を回収後、

凝集沈殿させる際に加えた飽和 NaCl によって、粘土画分中に含まれている炭酸塩が溶解したためと考えられた。

### 3-2-2-2. 各粒径画分中の有機炭素、全窒素量および $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$

粒径分画後の各粒径画分試料について、有機炭素量および全窒素量を、元素分析計(Termo Fisher 社製 Flash EA)を用いて測定した。この際、有機炭素の測定は、1MHCl を加えて炭酸塩を除去した後、70℃で乾燥し、測定に供した。

また、 $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$  の測定は、元素分析計(Termo Fisher 社製 Flash EA)および安定同位体比質量分析計(Termo Fisher 社製 Delta V)を用いて行った。 $\delta^{13}\text{C}$  の測定の際には、有機炭素量と同様に、前処理として 1MHCl を加えて炭酸塩を除去後、乾燥し、測定に供した。標準物質には、SI science 社製 L-Alanine ( $\delta^{13}\text{C}=-19.9\text{‰}\pm 0.2$ ,  $\delta^{15}\text{N}=1.79 \pm 0.2$ )を用いた。同位体比の計算式は、 $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$  (‰) =  $(R_{\text{sample}}/R_{\text{standard}} - 1) \times 1000$  で表され、 $R_{\text{sample}}$  と  $R_{\text{standard}}$  はそれぞれ、土壌試料と標準物質の  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ( $^{15}\text{N}/^{14}\text{N}$ )を表している。また、安定同位体比はデルタ( $\delta$ )表記を使用し、千分率(‰)で表される。

### 3-2-3. 統計解析

土壌有機炭素量と気候および土壌諸性質との関係を明らかにするため、単回帰分析を行った。また、半乾燥地域の土地利用履歴別の土壌有機炭素量の比較では分散分析を行った。さらに、土壌有機炭素量と粘土含量との回帰式を比較する際には共分散分析を行った。統計解析には SPSS statistics 20.0 (SPSS Inc., 2011)を用いた。

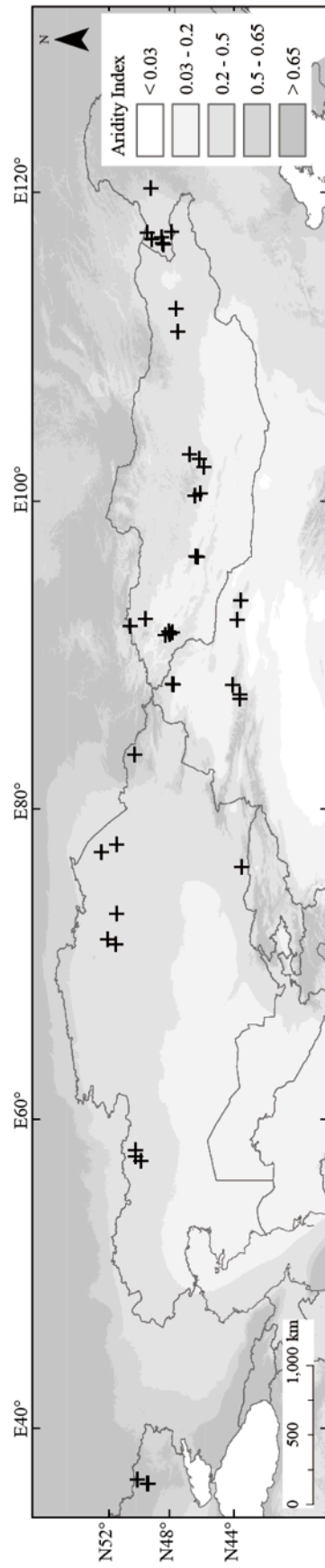


図 3-1 ユーラシアステップの全調査地点 (+: 調査地点)



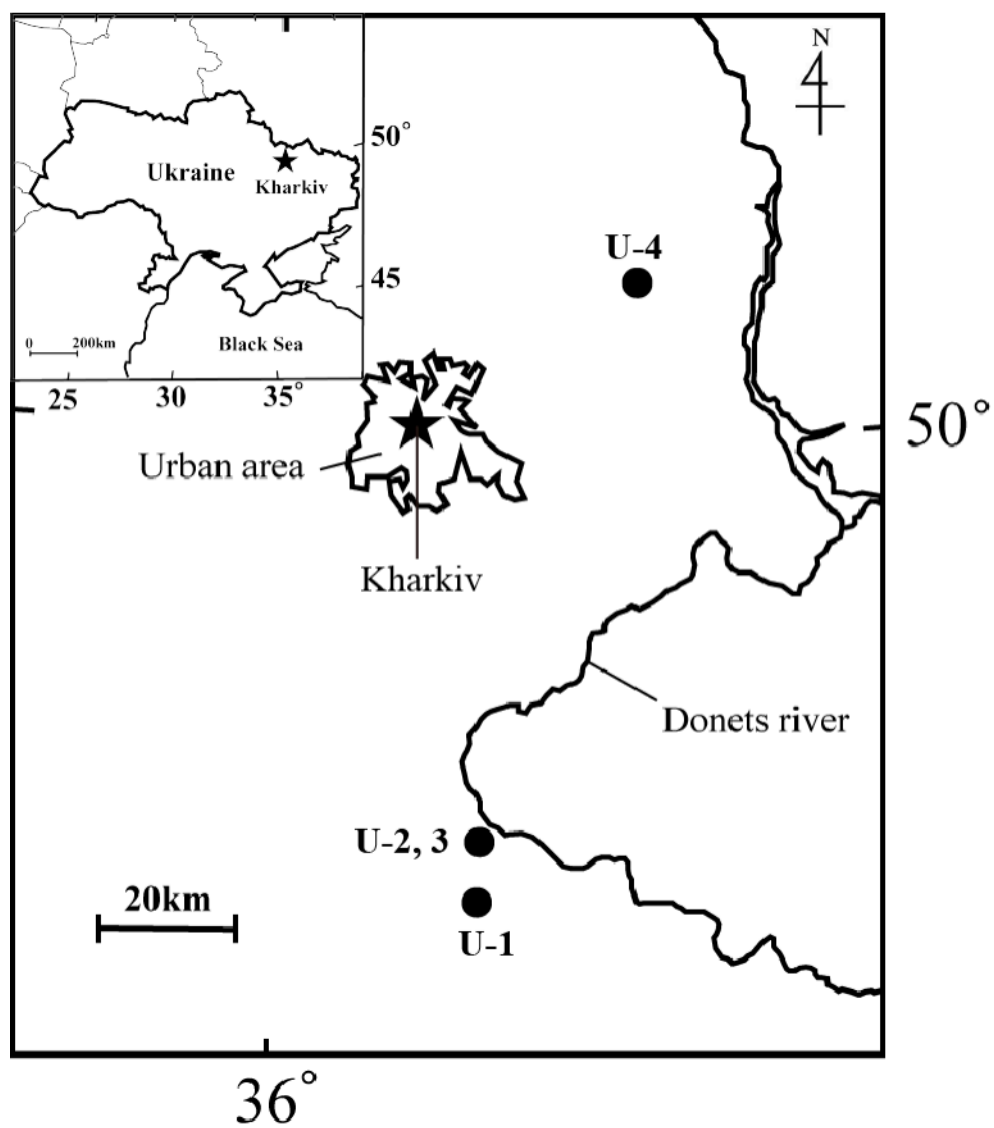


図 3-2 ウクライナ調査地点



図 3-3 カザフスタン調査地点

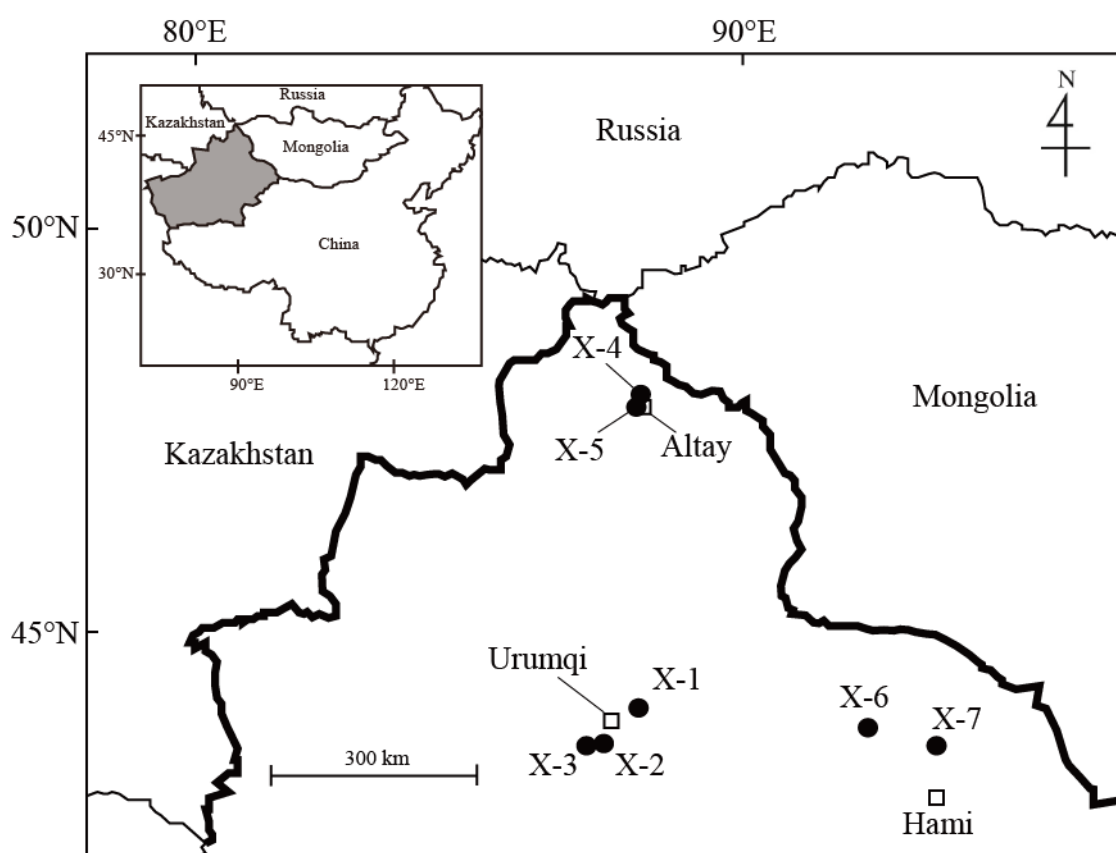


図 3-4 中国新疆ウイグル自治区調査地点

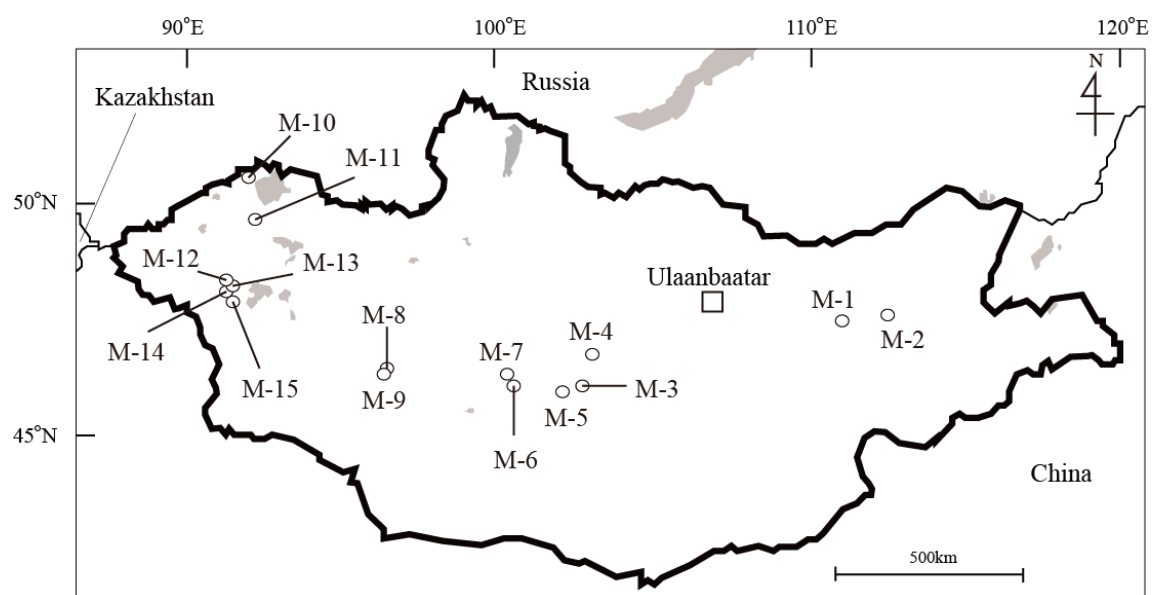


図 3-5 モンゴル調査地点

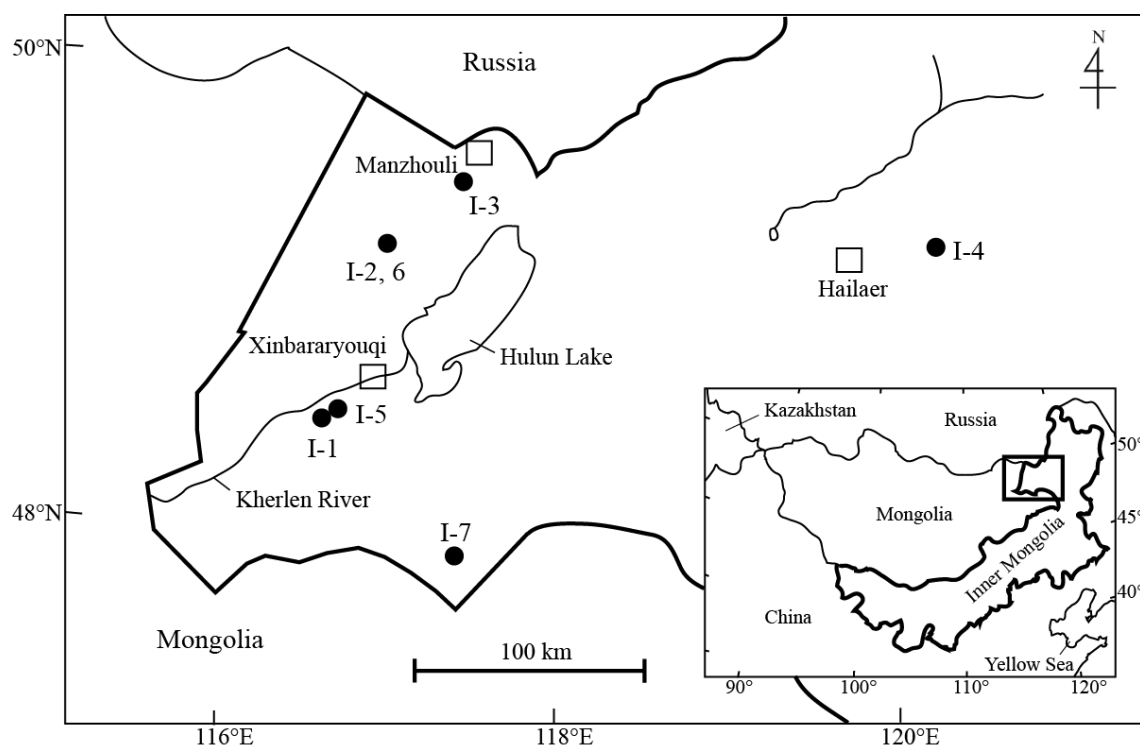


图 3-6 中国内蒙古自治区调查地点

表 3-1 調査地概況

国	地点No.	緯度経度	調査年月日	土地利用履歴	年降水量 <sup>*1</sup> (mm)	年平均気温 <sup>*1</sup> (°C)	乾燥度指数 <sup>*2</sup> (AI)	標高 (m)	優占種	地上部現存量 <sup>*3</sup> (g/m <sup>2</sup> )
Ukraine	U-1	N49°26' E36°21'	2003年7月25日	耕作放棄地(16年間)	545	7.5	0.71	155	<i>Bromopsis inermis</i>	380.0
	U-2	N49°29' E36°21'	2003年7月28日	耕作放棄地(7年間)	532	7.8	0.69	135	<i>Stipa capillata</i>	244.8
	U-3	N49°29' E36°21'	2003年7月29日	耕作放棄地(7年間)	532	7.8	0.69	135	<i>Stipa capillata</i>	244.8
	U-4	N50°08' E36°37'	2003年8月6日	耕作放棄地(13年間)	555	6.9	0.74	170	<i>Bromopsis inermis</i>	-
Kazakhstan	K-1	N50°19' E38°33'	2004年7月7日	自然保護区	621	2.1	0.84	827	<i>Calamagrostis epigeios</i>	-
	K-2	N52°27' E7°14'	2004年7月13日	耕作放棄地(11年間)	278	2.2	0.37	114	<i>Benetia incana, Stipa capillata</i>	99.0
	K-3	N51°29' E7°43'	2004年7月10日	放牧草原	248	2.9	0.32	197	<i>Kochia prostrata, Stipa capillata, Artemisia sp.</i>	74.3
	K-4	N43°23' E7°17'	2004年7月20日	放牧草原	432	8.2	0.46	750	<i>Stipa capillata</i>	243.2
	K-5	N51°31' E7°15'	2007年7月27日	自然保護区	322	1.9	0.44	386	<i>Helictotrichon desertorum</i>	176.9
	K-6	N52°03' E71°34'	2007年7月29日	耕作放棄地(7年間)	329	1.7	0.46	350	<i>Festuca sulcata, Artemisia frigida, Artemisia schrenkiana, Stipa capill</i>	571.4
	K-7	N51°33' E71°16'	2007年7月30日	耕作放棄地(51年間)	324	1.5	0.45	425	<i>Helictotrichon desertorum</i>	222.1
	K-8	N49°56' E57°15'	2007年8月1日	放牧草原	305	4.3	0.34	335	<i>Festuca sulcata, Stipa capillata</i>	171.3
	K-9	N50°14' E57°57'	2007年8月5日	耕作放棄地(27年間)	322	3.2	0.38	414	<i>Festuca sulcata, Poa pratensis, Potentilla acaulis</i>	123.6
	K-10	N50°17' E57°32'	2007年8月4日	耕作放棄地(5年間)	311	4.3	0.35	247	<i>Artemisia vurgatis</i>	150.5
Xinjiang, China	X-1	N44°00' E88°03'	2009年7月7日	放牧草原	224	5.5	0.25	1098	<i>Seriphidium borotalense</i>	96.9
	X-2	N43°29' E87°27'	2009年7月17日	放牧草原	228	4.5	0.27	1612	<i>Artemisia obsusiloba</i>	67.4
Mongolia	X-3	N43°32' E87°09'	2009年7月18日	放牧排除区	235	3.8	0.28	1743	<i>Stipa capillata</i>	207.3
	X-4	N47°53' E88°07'	2009年7月13日	放棄地(ギキ一場跡地)	180	3.0	0.22	1046	<i>Bohriochloa ischaemum</i>	228.7
	X-5	N47°49' E88°06'	2009年7月12日	放牧排除区(10年間)	180	3.5	0.22	917	<i>Stipa capillata</i>	82.7
	X-6	N43°42' E92°16'	2009年7月20日	放牧草原	165	2.7	0.20	2049	<i>Stipa glareosa</i>	23.6
	X-7	N43°27' E93°31'	2009年7月21日	放牧排除区	169	3.0	0.20	2028	<i>Stipa krylovii</i>	74.7
	M-1	N47°31' E110°31'	2005年7月6日	放牧草原	272	-0.4	0.35	1041	<i>Cleistogenes squarrosa</i>	-
	M-2	N47°40' E112°24'	2005年7月5日	放牧草原	244	0.6	0.31	924	<i>Stipa grandis</i>	48.2
Inner Mongolia, China	M-3	N46°08' E102°41'	2008年7月5日	放牧草原	262	1.2	0.35	1773	<i>Carex korshinskii</i>	53.7
	M-4	N46°45' E102°59'	2008年7月17日	放牧草原	282	-1.3	0.40	1848	<i>Stipa krylovii</i>	122.8
	M-5	N45°51' E102°10'	2008年7月18日	放牧草原	258	0.8	0.34	1883	<i>Stipa krylovii, Caragana pygmaea</i>	44.6
	M-6	N46°03' E100°27'	2008年7月12日	放牧草原	206	-0.7	0.28	1914	<i>Allium polyrhizum</i>	33.5
	M-7	N46°24' E100°18'	2008年7月21日	放牧草原	235	-2.9	0.34	2114	<i>Stipa krylovii</i>	36.1
	M-8	N46°23' E96°23'	2008年7月8日	放牧草原	164	-1.2	0.24	2086	<i>Stipa krylovii</i>	20.7
	M-9	N46°16' E96°21'	2008年7月9日	放牧草原	174	-2.0	0.27	2300	<i>Stipa krylovii</i>	44.5
	M-10	N50°36' E91°52'	2010年7月5日	放牧草原	264	-4.5	0.41	1401	<i>Koeleria cristata, Potentilla acaulis</i>	60.3
	M-11	N49°38' E92°19'	2010年7月7日	放牧草原	180	-4.4	0.27	1574	<i>Stipa gobica, Stipa krylovii</i>	28.5
	M-12	N48°22' E91°16'	2010年7月12日	放牧草原	118	0.1	0.16	1483	<i>Cleistogenes sp.</i>	52.4
	M-13	N48°07' E91°32'	2010年7月13日	放牧草原	124	-0.2	0.16	1530	<i>Cleistogenes songorica</i>	42.7
	M-14	N48°04' E91°21'	2010年7月15日	放牧草原	133	-1.1	0.19	1870	<i>Stipa krylovii</i>	35.7
	M-15	N47°53' E91°28'	2010年7月17日	放牧草原	126	-0.1	0.17	1608	<i>Stipa glareosa, Stipa gobica</i>	26.1
	I-1	N48°29' E116°35'	2006年7月1日	放牧排除区	232	1.1	0.29	630	<i>Allium polyrhizum, Carex korshinskii</i>	12.3
	I-2	N49°14' E116°55'	2006年7月2日	放牧草原	288	-1.0	0.39	728	<i>Leymus chinensis</i>	39.2
	I-3	N49°31' E117°20'	2006年7月4日	放牧草原	317	-1.9	0.43	749	<i>Stipa krylovii</i>	65.9
その他地点の地上部現存量データは共同研究者より提供	I-4	N49°15' E120°12'	2006年7月8日	冬季採草地	385	-1.2	0.52	643	<i>Bromus inermis</i>	226.5
	I-5	N48°31' E116°40'	2009年7月24日	放牧草原	237	1.1	0.30	575	<i>Allium polyrhizum</i>	48.4
	I-6	N49°14' E116°55'	2009年7月26日	放牧排除区(2年間)	289	-1.0	0.39	749	<i>Stipa krylovii</i>	166.8
	I-7	N47°55' E117°23'	2009年7月29日	放牧草原	245	0.3	0.31	612	<i>Cleistogenes squarrosa</i>	72.0

<sup>\*1</sup> WorldClim database (<http://www.worldclim.org>)<sup>\*2</sup> CGIAR-CSI Consortium for Spatial Information (<http://www.cgiar-csi.org>).<sup>\*3</sup> U-2 (Kawada et al., 2005); K-2~K-3, M-2, I-1~I-4, M-3~M-9 (Hayashi et al., 2006; Kawada et al., 2008a,b; Kawada et al., 2009)

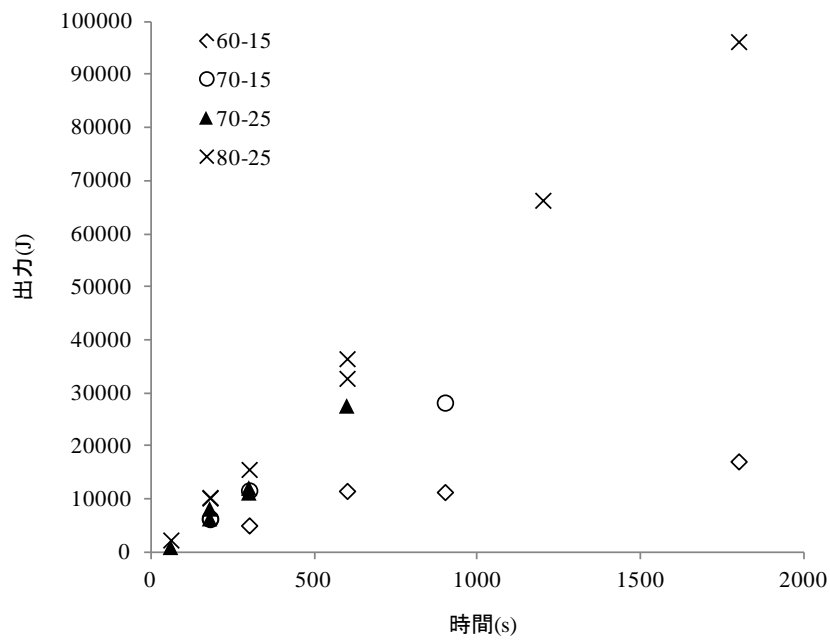


図 3-7 超音波の設定レベルの違いによる時間と出力の関係

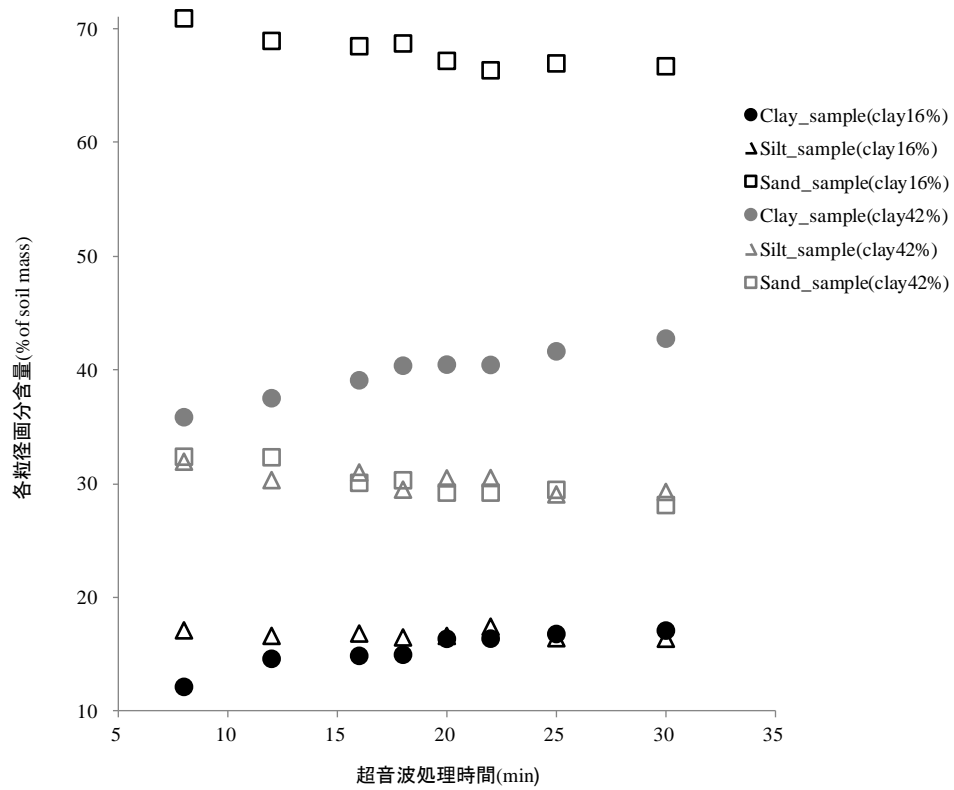


図 3-8 超音波時間の違いによる粒径組成の変化

## 第4章 結果および考察

### 4-1. ウクライナハリコフ州の耕作放棄地における土壌断面形態および表層土壌の諸性質

#### 4-1-1. 土壌断面形態

各地点の土壌断面写真および景観を図 4-1-1 に示した。また、土壌断面調査の結果を表 4-1-1 に示した。以下、土壌断面調査の結果について記述する。本結果は Yamamoto and Tamura (2004) から引用した。

##### (1) Site 1 (地点 U-1)

調査年月日: 2003 年 7 月 23 日

天候: 晴れ(調査前晴れ-夕方雨)

調査者: 山本陽介

調査地点: Pervomyski village, Kharkiv State, Ukraine Republic

緯度経度: N49°26'19.5" E36°21'23.0"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 波状性平原傾斜面

標高: 155 m

傾斜: N80°W, 9.5°

侵食: 軽微

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄地(16 年前から放棄)

優占種: *Bromopsis inermis*, *Achillea setacea*, *Festuca slucata*, *Medicago romanica*,  
*Asperula cynanchica*, *Koeleria cristata*

引用: Yamamoto and Tamura (2004) の Site 1

#### 断面形態

Ah1 (0-12 cm): 10YR3/2(湿)、HC、礫なし、団粒構造発達強度、粘着性中、可塑性中、ち密度 19、細孔隙、細小根富むおよび中根含む、中石灰質、層界波状漸変

Ah2 (12-21 cm): 10YR3/2(湿)、HC、礫なし、垂角塊状構造発達中度  $\phi$ 10-20 mm、粘着性中、可塑性中、ち密度 25、細孔隙、細小根富む、強石灰質、層界平坦明瞭

AB (21-59 cm): 10YR4/3(湿)、HC、礫なし、垂角塊状構造発達中度  $\phi$ 10-20 mm、粘着性中、可塑性中、ち密度 23、細孔隙、細根富むおよび小根あり、強石灰質、層界平坦漸変

Bk (59-85 cm): 10YR4/6(湿)、点状 CaCO<sub>3</sub> 硬結核含む(5%)、HC、礫なし、垂角塊状構造発達中



度  $\phi$ 20-50 mm、粘着性中、可塑性強、ち密度 23、細孔隙、細根富むおよび小根あり、極強石灰質、層界平坦漸変

Ck (85-120+ cm): 10YR4/6(湿)、点状  $\text{CaCO}_3$  硬結核含む(8%)および石膏の集積あり、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 25、細孔隙、細小根あり、極強石灰質

<その他: 19-29 cm モグラの穴あり。>

## (2) Site 2-1 (地点 U-2)

調査日: 2003 年 7 月 28 日

天候: 曇り(調査前: 晴れ)

調査者: 田村憲司・山本陽介

調査地点: Pervomyski village, Kharkiv State, Ukraine Republic

緯度経度: N49°29'30.9" E36°21'13.2"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 波状性平原緩傾斜

標高: 135 m

傾斜: N30°W, 4.5°

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄地(7 年前から放棄)

優占種: *Stipa capillata*, *Bromopsis inermis*, *Medicago romanica*

引用: Yamamoto and Tamura (2004) の Site 2-1

## 断面形態

Ah1 (0-14 cm): 7.5YR2/2(湿)、HC、礫なし、団粒構造発達強度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性中、可塑性中、ち密度 18、孔隙なし、細根すこぶる富むおよび小中根あり、非石灰質、層界波状判然

Ah2 (14-28 cm): 7.5YR2/2(湿)、HC、礫なし、亜角塊構造発達中強度  $\phi$ 5-20 mm および団粒状構造発達強度  $\phi$ 1-3 mm、粘着性中、可塑性中、ち密度 21、孔隙なし、細根富むおよび小根あり、中石灰質、層界平坦漸変

AB (28-43 cm): 5YR2/2(湿)、HC、礫なし、亜角塊構造発達中強度  $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 18、細孔あり、細根含むおよび小根あり、強石灰質、層界平坦漸変

Bk1 (43-60 cm): 5YR4/4(湿)、HC、礫なし、亜角塊状構造発達中強度  $\phi$ 20-50 mm、粘着性中、可

塑性強、ち密度 25、細孔あり、細小中根あり、極強石灰質、層界平坦漸変  
Bk2 (60-80 cm): 5YR3/6(湿)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 25、細孔あり、細小中根あり、極強石灰質、層界波状漸変  
Bk3 (80-120+ cm): 5YR4/6(湿)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性中、ち密度 25、細孔あり、細小中根あり、極強石灰質

### (3) Site 2-2 (地点 U-3)

調査年月日: 2003 年 7 月 29 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 田村憲司・山本陽介

調査地点: Pervomyski village, Kharkiv State, Ukraine Republic

緯度経度: N49°29'30.9" E36°21'13.2"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 波状性平原緩傾斜

標高: 135 m

傾斜: N80°W, 5°

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄地(7 年前から放棄)

優占種: *Stipa capillata*, *Bromopsis inermis*, *Medicago romanica*

引用: Yamamoto and Tamura (2004) の Site 2-2

### 断面形態

Ah1 (0-12 cm): 5YR2/2(湿)、HC、礫なし、団粒状構造発達強度 01-5 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 25、孔隙なし、細根すこぶる富むおよび小中根あり、非石灰質、層界波状判然

Ah2 (12-24 cm): 5YR3/2(湿)、HC、礫なし、団粒状構造発達強度 01-5 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 23、孔隙なし、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦漸変

AB (24-40 cm): 5YR4/8(湿)、LiC、礫なし、亜角塊状構造発達中強度 05-20 mm、粘着性中、可塑性弱、ち密度 26、細孔あり、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦漸変

Bw1 (40-60 cm): 5YR4/6(湿)、CL、礫なし、亜角塊状構造発達中強度 05-20 mm、粘着性中、可塑性弱、ち密度 21、細孔あり、細小中根あり、非石灰質、層界平坦漸変

Bw2 (60-83 cm): 7.5YR5/6(湿)、SCL、礫なし、亜角塊状構造発達中強度 05-20 mm、粘着性中、

可塑性なし、ち密度 21、細孔あり、細小中根ありおよび大根まれにあり、非石灰質、層界波状漸変

Bw3 (83-118 cm): 7.5YR6/6(湿)、SL、礫なし、角塊状構造発達中程度  $\phi$ 10-20 mm、粘着性弱、可塑性なし、ち密度 14、細孔あり、細小根含むおよび中根あり、弱石灰質、層界波状明瞭

BC (118-150+ cm): 10YR6/1(湿)、SL、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性なし、ち密度 17、細孔あり、細小中根あり、弱石灰質

#### (4) Site 3 (地点 U-4)

調査年月日: 2003 年 8 月 6 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 山本陽介

調査地点: Peremoga village, Kharkiv State, Ukraine Republic

緯度経度: N50°08'24.2" E36°37'36.6"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 波状性平原緩傾斜

標高: 170 m

傾斜: N18°E, 5°

侵食: 軽微

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄地(13 年前から放棄)

優占植生: *Bromopsis inermis*, *Koeleria cristata*, *Festuca slucata*, *Artemisia marschalliana*, *Poa angustifolia*

引用: Yamamoto and Tamura (2004) の Site 3

#### 断面形態

Ah1 (0-16 cm): 10YR2/2(湿)、HC、礫なし、団粒状構造発達強度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性中、可塑性中、ち密度 19、孔隙なし、細小根富む、非石灰質、層界波状判然

Ah2 (16-27 cm): 10YR2/2(湿)、HC、礫なし、団粒状構造発達強度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 17、孔隙なし、細小根含む、中石灰質、層界波状判然

Ah3 (27-45 cm): 10YR2/2(湿)、HC、礫なし、亜角塊状構造発達中程度  $\phi$ 10-30 mm および団粒状構造発達強度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 21、細孔含む、細小根あり、強石灰質、層界不規則漸変

AB (45-68 cm): 10YR3/2(湿)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 17、細管状富む、細根ありおよび小根まれにあり、極強石灰質、層界不連続漸変  
BA (68-87 cm): 10YR3/3(湿)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 18、細管状富む、細根ありおよび小中根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然  
Bk (87-113+ cm): 10YR5/6(湿)、点状  $\text{CaCO}_3$  軟結核含む、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 23、細管状富む、細根ありおよび小中根まれにあり、極強石灰質

<その他: Bk 層に腐植(10YR2/3)の舌状貫入(30%)とミミズの穴あり。>

#### 4-1-2. ウクライナ土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成

各地点の土壤断面層位別試料の理化学性を表 4-1-2 に示した。本結果の一部(表 4-1-2 中の太字以外)は Yamamoto and Tamura (2004)から引用した。

各地点の pH( $\text{H}_2\text{O}$ )は、7.47-8.58 (U-1)、6.95-8.30(U-2)、6.58-7.32(U-3)、7.05-8.69(U-4)を示し、表層で最も低く、U-3 を除き、下層に向かうほど高くなる結果となった。OC は、U-1 から U-4 の順に、表層で 26.46、30.93、28.38、33.95 (g/kg)と最も高く、下層ほど低い値を示した。また、U-4 では、68cm まで 23.34 (g/kg)と、高い値を示した。TN の結果も同様に、表層で最も高く、下層ほど低い値となった。一方、 $\text{CaCO}_3$  は U-3 を除き、下層ほど高い値を示し、U-1 では 14.7%、U-2 は 12.2%、U-4 は 12.3%であった。表層および次表層の粒径組成は、U-1 は 50.2-56.0%、U-2 は 35.4-37.7%、U-3 は 26.1-29.1%、U-4 は 38.1-38.8%と、U-1 が最も細粒質であった。

表層土壤中の結晶性、非晶質および有機物結合態の各形態の Fe、Al および有機物結合態 Ca 量は、Fed-o と Cap で高い値を示した。Fed-o の範囲は、6.48-9.13(g/kg)、Cap は、4.67-7.86g/kg であり、ともに U-1 で最も高い値を示した。一方、Feo、Alo、Fep、Alp はそれぞれ 0.89-1.25 (g/kg)、1.23-1.82 (g/kg)、0.10-0.22 (g/kg)、0.20-0.36 (g/kg)と、非常に少ない値であった。

粘土鉱物組成の結果を図 4-1-2 に示した。ウクライナ 4 地点の表層土壤の粘土鉱物組成は全て同じ結果であった。まず、Mg 飽和試料の結果から、すべての地点で 1.4 nm に大きいピークが認められた。このピークは、Mg 飽和試料のグリセロール処理により、一部が 1.7 nm に移行することから、スメクタイトの存在が確認できた。一方、1.4 nm に残存する部分については、K 飽和处理 550°C で 1.4 nm にピークが認められないことから、バーミキュライトであることが示された。Mg 飽和試料の 1.4 nm 以外では、1.0 nm と 0.7 nm に特徴的なピークが確認された。1.0 nm のピークは、Mg 飽和のグリセロール処理においても 1.0 nm に残存し、K 飽和においても 1.0 nm に確認できることからイライトの存在であることが考えられる。0.7 nm のピークについては、K 飽和 550°C で大部分が消失することからカオリン鉱物の存在が示された。

#### 4-1-3. 表層土壤における各粒径画分中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成

ウクライナ耕作放棄地 4 地点の表層土壤の各粒径画分中の有機炭素量および全窒素量を表

4-1-3 と図 4-1-3、4-1-4 に、安定同位体組成の結果を表 4-1-4 と図 4-1-5、4-1-6 に示した。各粒径画分中の有機炭素量は、すべての地点において、粘土画分中の有機炭素量が最も多く、15.34-22.05 (g/kg soil)を示し、全炭素量に占める割合は、54.1-64.9 (%)であった。シルト画分では、9.07-11.96 (g/kg soil)、31.4-38.7 (%)を示し、砂画分は、1.67-2.44 (g/kg)、4.9-8.4 (%)と、粒径サイズが大きいほど量、割合ともに少ない結果となった。また、全窒素量についても有機炭素量と同様の結果が得られた。有機炭素量および全窒素量とは逆に、C/N は、粘土画分では、8.9-10.1、シルト画分では、13.0-14.0、砂画分では、19.0-26.0 を示し、粒径サイズが大きいほど大きい値を示した。

続いて、地点間の比較をすると、粘土画分中の有機炭素量は、U-4 で量、割合ともに最も多く(22.05 g/kg soil、64.9%)、U-2、U-1、U-3 の順に少なくなった。シルト画分中では、U-2 (11.96 g/kg soil、38.7%)で最も多く、U-3、U-1、U-4 の順に少なくなった。砂画分中では、U-2、U-3(2.44, 2.39g/kg soil、7.9, 8.4%)で高い値を示し、U-1、U-4 の順に少なくなった。C/N は、粘土およびシルト画分では、U-4 で最も高く、U-1 で最も低い値を示した。

各粒径画分中の  $\delta^{13}\text{C}$  は、Bulk 土壌は、-25.2~-25.5 (‰)、粘土画分中では、-24.9~-25.1 (‰)、シルト画分中では-25.9~-26.1 (‰)、砂画分中では、-25.8~-26.5 (‰)を示し、粘土画分の値がシルトおよび砂画分に比べて、明らかに大きい値を示した。しかし、地点間の差は、U-4 の砂画分を除き、顕著には示されなかった。一方、 $\delta^{15}\text{N}$  は、Bulk 土壌中では、4.05~5.32 (‰)、粘土画分中では、5.40~6.43 (‰)、シルト画分中では、1.82~3.10 (‰)を示し、 $\delta^{13}\text{C}$  同様に、粒径サイズが小さいほど、大きい値となった。また、 $\delta^{13}\text{C}$  とは異なり、 $\delta^{15}\text{N}$  では、地点間の差が示され、粘土およびシルト画分ともに、U-4 で最も大きく、U-1 で最も小さくなり、その差は 0.95、1.28 (‰)であった。



Site: U-1  
Land-use:  
Abandoned field (16 yr)

Soil: **Chernozem**



Site: U-4  
Land-use:  
Abandoned field (13 yr)

Soil: **Chernozem**



Site: U-2 (LiC)  
Land-use:  
Abandoned field (7 yr)

Soil: **Chernozem**



Site: U-3 (SL)  
Land-use:  
Abandoned field (7 yr)

Soil: **Phaeozem**



図 4-1-1 ウクライナハリコフ州の土壌断面写真および景観写真  
(Yamamoto and Tamura (2004)から引用)

表 4-1-1 ウクライナハリコフ州周辺土壌の土壌断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (乾)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HCl反応*	その他 (斑紋結核など)
U-1		地表の露岩: なし									
		Ah1	0-12	10YR3/2	HC	なし	団粒構造強度	中/中	19	+	
		Ah2	12-21	10YR3/2	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø10-20mm	中/中	25	++	
		AB	21-59	10YR4/3	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø10-20mm	中/中	23	++	19-29cmモグラの穴あり。
		Bk	59-85	10YR4/6	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø20-50mm	中/強	23	+++	点状CaCO <sub>3</sub> 硬結核含む(5%)
U-2	Pervomyski village	Ck	85-120+	10YR4/6	HC	なし	壁状構造	中/強	25	+++	点状CaCO <sub>3</sub> 硬結核含む(8%)
		地表の露岩: なし									
		Ah1	0-14	7.5YR2/2	HC	なし	団粒構造強度Ø1-5mm	中/中	18	-	
		Ah2	14-28	7.5YR2/2	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø5-20mm	中/中	21	+	
		AB	28-43	5YR2/2	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø5-20mm	弱/中	18	++	
		Bk1	43-60	5YR4/4	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø20-50mm	中/強	25	+++	
		Bk2	60-80	5YR3/6	HC	なし	壁状構造	中/強	25	+++	
		Bk3	80-120+	5YR4/6	HC	なし	壁状構造	中/中	25	+++	
		地表の露岩: なし									
		Ah1	0-12	5YR2/2	HC	なし	団粒構造強度Ø1-5mm	弱/中	25	-	
U-3		Ah2	12-24	5YR3/2	HC	なし	団粒構造強度Ø1-5mm	弱/弱	23	-	
		AB	24-40	5YR4/8	LiC	なし	亜角塊状構造 中度Ø5-20mm	中/弱	26	-	
		Bw1	40-60	5YR4/6	CL	なし	亜角塊状構造 中度Ø5-20mm	中/弱	21	-	
		Bw2	60-83	7.5YR5/6	SCL	なし	亜角塊状構造 中度Ø5-20mm	中/なし	21	-	
		Bw3	83-118	7.5YR6/6	SL	なし	角塊状構造 中度Ø10-20mm	弱/なし	14	±	
		BC	118-150+	10Y6/1	SL	なし	壁状構造	弱/なし	17	±	
		地表の露岩: なし									
U-4	Peremoga village	Ah1	0-16	10YR2/2	HC	なし	団粒構造強度Ø1-5mm	中/中	19	-	
		Ah2	16-27	10YR2/2	HC	なし	団粒構造強度Ø1-5mm	弱/中	17	+	
		Ah3	27-45	10YR2/2	HC	なし	亜角塊状構造 中度Ø10-30mm	弱/中	21	++	
		AB	45-68	10YR3/2	HC	なし	壁状構造	中/強	17	+++	
		BA	68-87	10YR3/3	HC	なし	壁状構造	中/強	18	+++	
		Bk	87-113+	10YR5/6	HC	なし	壁状構造	中/強	23	+++	点状CaCO <sub>3</sub> 硬結核含む ミミズの穴あり。
											腐植(10YR2/3)の貫入(30%)

本結果はYamamoto and Tamura (2004)から引用。

\* -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質

表 4-1-2 ウクライナ土壤断面の理化学性

No.	深度 層位	(cm)	pH	OC (g/kg)	TN	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Exchangeable base					CEC cmol.kg <sup>-1</sup>	Particle size			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Clay		Silt	Sand	Fe <sub>d-o</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Ca <sub>p</sub>																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
			H <sub>2</sub> O																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		

太字以外: Yamamoto and Tamura (2004)から引用。



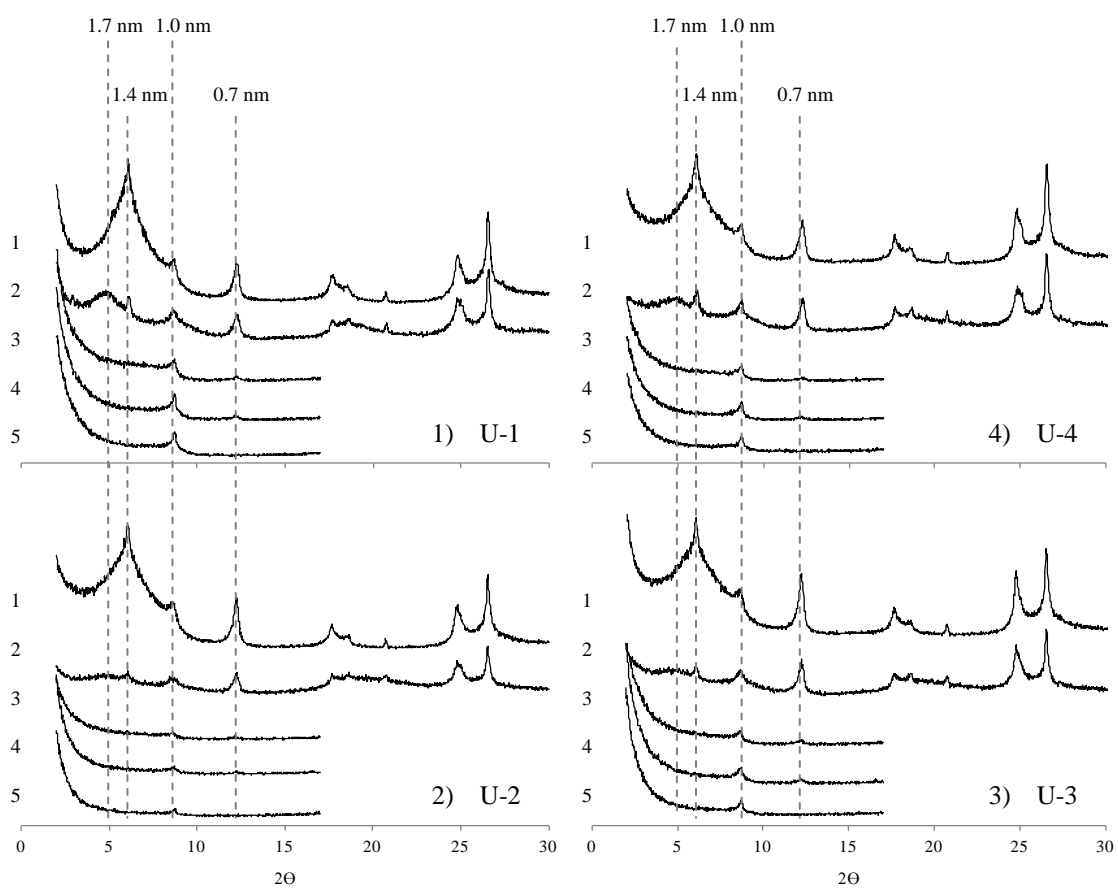


図 4-1-2 ウクライナ表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和 2: Mg 飽和グリセロール処理

3: K 飽和 4: K 飽和 300℃処理 5: K 飽和 500℃処理

表 4-1-3 ウクライナ表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量, C/N および  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$

調査地点	回収率		粒径画分中の有機炭素量および全窒素量						表層土壌中の各粒径画分の有機炭素と全窒素量の割合						
	Weight	OC (%)	TN	有機炭素量			全窒素量			有機炭素量			全窒素量		
				Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand
				(g/kg soil)						(% in total OC and TN after fractionation)					
U-1	98.1	101.3	99.3	15.92	9.07	1.81	1.80	0.70	0.08	60.2	34.3	6.8	69.4	26.9	3.0
U-2	98.1	107.5	94.3	18.85	11.96	2.44	2.00	0.89	0.12	61.0	38.7	7.9	62.8	27.9	3.6
U-3	98.9	100.8	93.0	15.34	10.88	2.39	1.66	0.82	0.13	54.1	38.4	8.4	59.2	29.3	4.5
U-4	98.5	101.2	95.6	22.05	10.66	1.67	2.19	0.76	0.06	64.9	31.4	4.9	69.4	24.2	2.0
調査地点	C/N		$\delta^{13}\text{C}$					$\delta^{15}\text{N}$							
	Clay	Silt	Sand	Bulk	Clay	Silt	Sand	Bulk	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	
															(‰)
U-1	8.9	13.0	23.5	-25.5	-25.1	-26.0	-26.0	4.05	5.40	1.82					
U-2	9.4	13.5	21.0	-25.3	-25.0	-26.1	-26.0	4.87	6.16	2.09					
U-3	9.2	13.2	19.0	-25.2	-24.9	-25.9	-25.8	5.14	6.43	2.85					
U-4	10.1	14.0	26.0	-25.4	-25.0	-26.0	-26.5	5.32	6.35	3.10					

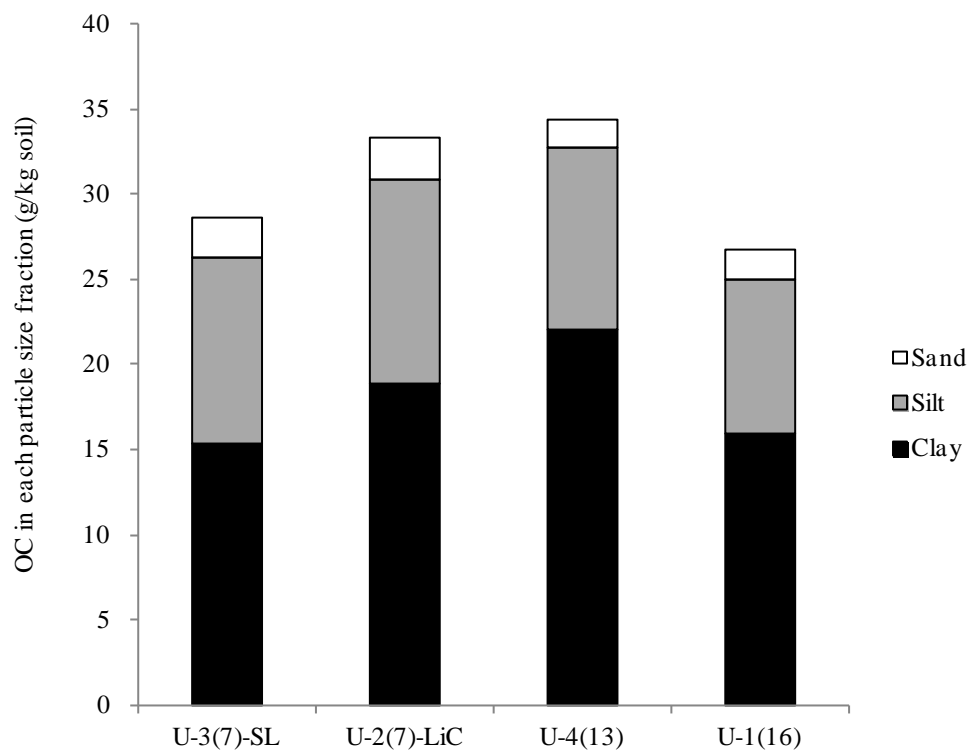


図 4-1-3 ウクライナ表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量  
[0内は、放棄後年数]

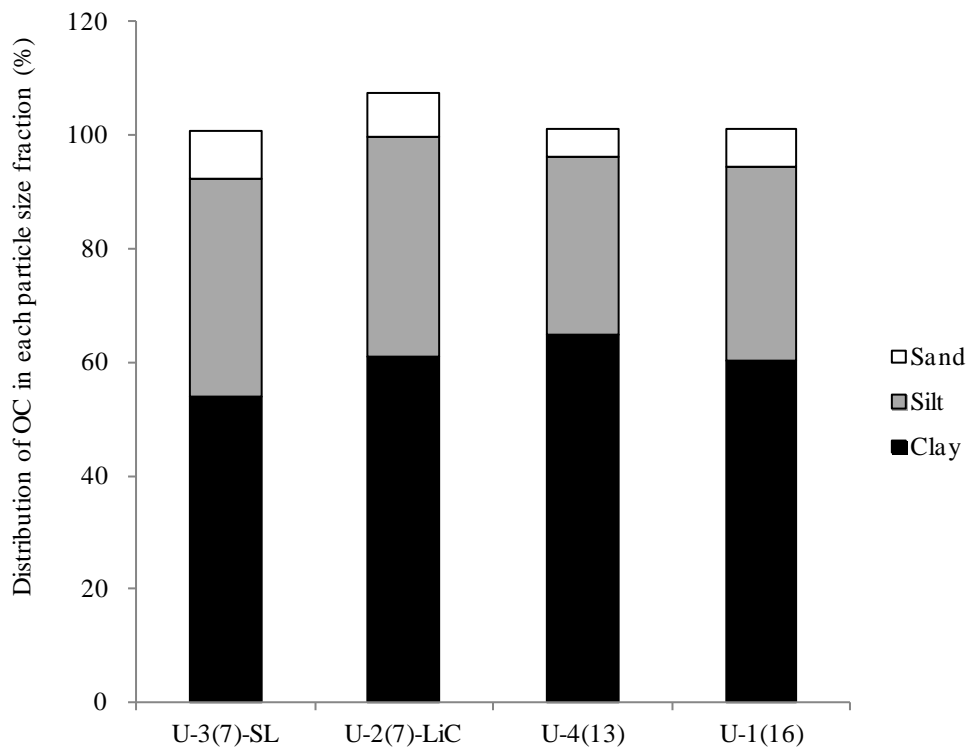


図 4-1-4 ウクライナ表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合  
[0内は、放棄後年数]

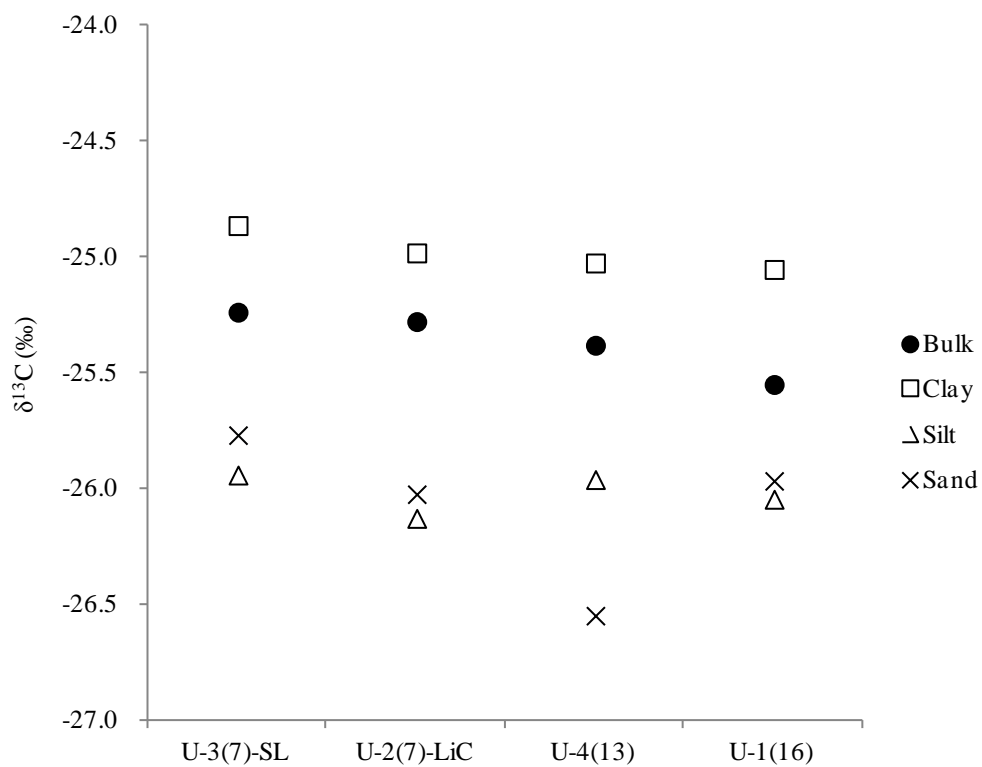


図 4-1-5 ウクライナ表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{13}\text{C}$   
[0内は、放棄後年数]

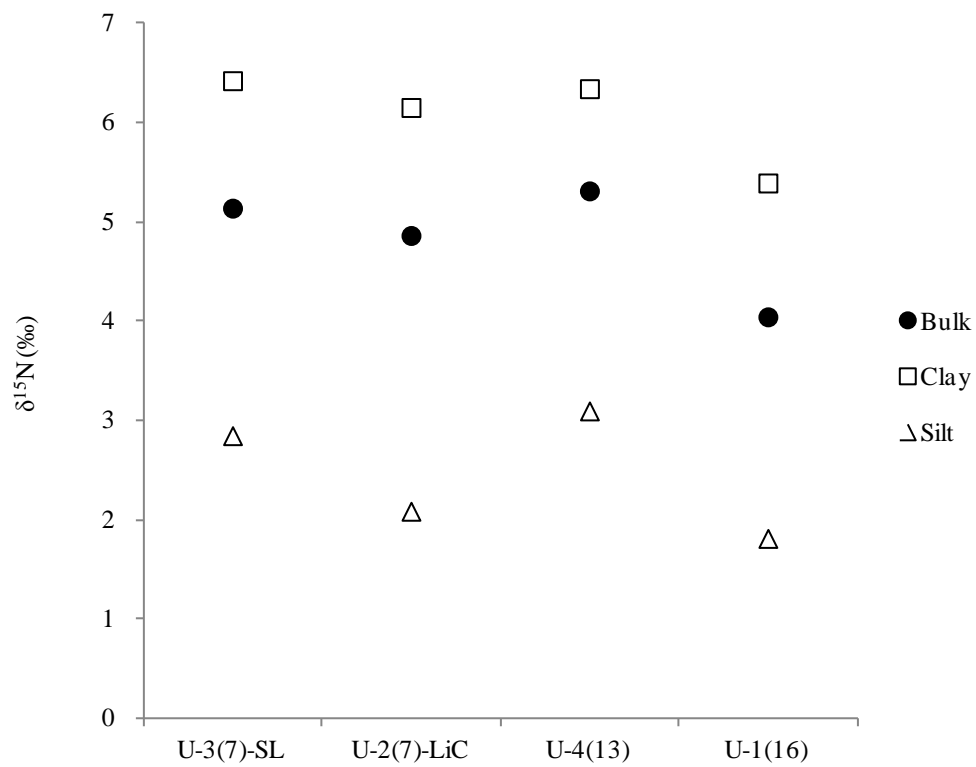


図 4-1-6 ウクライナ表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{15}\text{N}$   
[0内は、放棄後年数]

## 4-2. カザフスタンにおける土壌断面形態および表層土壌の諸性質

### 4-2-1. 土壌断面形態

各地点の土壌断面写真および景観を図 4-2-1 に示した。また、土壌断面調査の結果を表 4-2-1 に示した。以下、土壌断面調査の結果について記述する。本結果の K-1~K-4 は Tamura and Takuwa (2005)、K-5~K-10 は黒川(2009)から引用した。

#### (1) Altay Ridder (地点 K-1)

調査年月日: 2004 年 7 月 7 日

天候: 晴れ(調査前晴れ)

調査者: 田村憲司・多久和三貴

調査地点: Altay Ridder, Botanical garden, Ridder Town, East Kazakhstan State, Kazakhstan

緯度経度: N50°19.584' E83°33.148'

地質母岩: チャート(固結堆積岩)

堆積様式: 匍行成

気候: ステップ気候

地形: 山地斜面上部傾斜面

標高: 827 m

傾斜: S80°E, 12°

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 放牧(Site 付近に放牧のための人工牧草地あり)

優占種: *Calamagrostis epigeios*, *Thalictrum petaloideum*, *Agrostis* sp., *Artemisia* sp.

引用: Tamura and Takuwa (2005) の Site No.1

#### 断面形態

##### Oi (0-+3 cm)

A1 (0-12 cm): 7.5YR2/1(湿)、HC、半風化角礫  $\phi$ 2-10 mm(<5%)、団粒状構造発達強度  $\phi$ 1-3 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 17、孔隙-、細根富む・小根含む・中根あり、非石灰質、層界波状判然

A2 (12-28 cm): 7.5YR2/1(湿)、HC、半風化角礫  $\phi$ 2-10 mm(5%)、団粒状構造発達強度  $\phi$ 1-3 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 21、孔隙-、細根富む・小根含む・中根あり、非石灰質、層界波状判然

A3 (28-43 cm): 7.5YR2/1(湿)、SC、半風化角礫  $\phi$ 2-10 mm(10%)、粒状構造発達強度  $\phi$ <1 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 21、孔隙-、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦漸変

AB (43-53 cm): 7.5YR3/3(湿)、SCL、半風化角礫  $\phi$ 2-10 mm(20%)および半風化角礫  $\phi$ 5-10 cm(<5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-10 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 26、孔隙-、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界波状明瞭

Bw (53-64 cm): 7.5YR5/3(湿)、SCL、半風化~風化角礫  $\phi$ 2-20 mm(40%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-10 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 26、孔隙-、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦漸変

BC (64-85+ cm): 7.5YR5/2(湿)、S、礫土(半風化~風化角礫)、構造-、粘着性-、可塑性-、ち密度 28、孔隙-、細小根あり、非石灰質

#### (2) Efremovka (地点 K-2)

調査日: 2004 年 7 月 13 日

天候: 晴れ(調査前: 曇り)

調査者: 田村憲司・多久和三貴

調査地点: Efremovka, Pavlodar, Pavlodar State, Kazakhstan

緯度経度: N52°27.819' E77°14.447'

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 平坦

標高: 114 m

傾斜: なし

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄後 11 年(1993 年から放棄)

優占種: *Stipa capillata*, *Berteroa incana*, *Medicago falcate*, *Artemisia absinthium*,  
*Koeleria cristata*

引用: Tamura and Takuwa (2005) の Site No.2

#### 断面形態

A1 (0-11 cm): 10YR2/2.5(湿)-10YR2/3(乾)、SiL、礫なし、団粒状構造発達中度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 21、孔隙なし、細根すこぶる富むおよび小中根あり、非石灰質、層界平坦漸変

A2 (11-20 cm): 10YR2/2.5(湿)-10YR2/3(乾)、SiL、礫なし、団粒状構造発達中度  $\phi$ 1-3 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 15、孔隙なし、細根すこぶる富むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦漸変

A3 (20-35 cm): 10YR3/2(乾)、SiCL、礫なし、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 23、細管状富むおよび小泡状あり、細根含む、非石灰質、層界不規則明瞭

AB (35-55 cm): 10YR3/4(乾)、SiCL、礫なし、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 25、細管状富むおよび小泡状含む、細根あり、非石灰質、層界波状判然

Bk (55-90+ cm): 10YR6/4(乾)、SiL、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 33、孔隙-、細根まれにあり、極強石灰質

<その他: Bk 層クロトビナあり>

#### (3) Shirokyi (地点 K-3)

調査年月日: 2004 年 7 月 10 日

天候: 曇りのち雨(調査前: 曇りのち雨)

調査者: 田村憲司・多久和三貴

調査地点: Shirokyi, Pavlodar State, Kazakhstan

緯度経度: N51°29.971' E77°43.832'

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 中位段丘平坦面(付近に Irtysh river が流れている)

標高: 197 m

傾斜: なし

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: 亜円礫  $\phi$ 2-10 mm(<5%)

人為: 放牧(過放牧状態)

優占種: *Kochia prostrate*, *Stipa capillata*, *Artemisia sp.*, *Ancathia igniaria*,  
*Leymus ramosus*

引用: Tamura and Takuwa (2005)の Site No.3

#### 断面形態

Ak1 (0-17 cm): 10YR4/4(湿)-10YR3/4(乾)、HC、半風化亜円礫  $\phi$ 2-10 mm(<5%)、亜角塊状構造  
発達弱度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性中、可塑性強、ち密度 26、細管状あり、細富むおよ  
び小根あり、極強石灰質、層界平坦漸変

Ak2 (17-33 cm): 10YR4/4(湿)-7.5YR5/4(乾)、HC、半風化亜円礫  $\phi$ 2-10 mm(<5%)、壁状構造、  
粘着性弱、可塑性中、ち密度 30、細小泡状あり、細小根あり、極強石灰質、層界  
波状明瞭

Bk1 (33-52 cm): 7.5YR5/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 34、細  
小泡状あり、細小根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然

Bk2 (52-72 cm): 7.5YR5/6(乾)、HC、礫なし、角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑  
性中、ち密度 30、細管状あり、細小根まれにあり、極強石灰質、層界平坦判然

Bk3 (72-90+ cm): 7.5YR5/6(乾)、HC、礫なし、角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可  
塑性弱、ち密度 29、孔隙-、根-、極強石灰質

<その他: 最表層部にクラストあり(0-2 cm: 極強石灰質)、地表に地衣のマットあり>

#### (4) Balgabek Gambul (地点 K-4)

調査年月日: 2004 年 7 月 20 日

天候: 晴れ(調査前: 雨)

調査者: 田村憲司・多久和三貴

調査地点: Balgabek Gambul, Almaty, Kazakhstan

緯度経度: N43°23.445' E76°17.269'

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地斜面上部急斜面

標高: 750 m

傾斜: N30°W, 17°

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: なし

優占種: *Stipa capillata*, *Poa pratensis*, *Kochia scoparia var. sieversiana*, *Achnatherum  
splendens*

引用: Tamura and Takuwa (2005)の Site No.4

#### 断面形態

Oi (0-1 cm)

Ak (0-10 cm): 10YR3/4(湿)、SiC、礫なし、団粒状構造発達弱度  $\phi$ 1-3 mm および亜角塊状構造  
発達中度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 18、小泡状含む、細小根すこ  
ぶる富む、極強石灰質、層界波状漸変

Bk1 (10-32 cm): 10YR4/4(湿)-10YR6/3(乾)、SiC、礫なし、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-30 mm、  
粘着性弱、可塑性中、ち密度 20、細管状含む、細小根富む、極強石灰質、層界平  
坦判然

Bk2 (32-45 cm): 10YR6/4(乾)、SiC、礫なし、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-50 mm、粘着性弱、可  
塑性中、ち密度 25、細管状含む、細根含むおよび小根あり、極強石灰質、層界波  
状判然

Ck (45-110+ cm): 10YR7/3(乾)、SiL、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 31、細

管状あり、細小根あり、極強石灰質

(5) Ereymentau (地点K-5)

調査年月日: 2007年7月27日

天候: 曇り時々晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 田村憲司・神田隆志

調査地点: Ereymentau, Akmola State, Kazakhstan

緯度経度: N51°31'01.0" E73°15'21.9"

地質母岩: レス、チャート

堆積様式: 残積成/風成

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地極緩傾斜面中部

標高: 386 m

傾斜: S26°E, 2°

侵食: なし(過去に風食があった可能性あり)

排水性: 良好

地表の露岩:  $\phi$ 10-50 mm(10-20%)

人為: 保護区

優占種: *Helictotrichon desertorum*, *Festuca sulcata*, *Agropyron repens*, *Filipendula hexapetala*, *Glyceria* sp., *Spiraea hypericifolia*

引用: 黒川 (2009)のEreymentau (ERE)

断面形態

Oi (0-+1 cm)

A1 (0-10 cm): 7.5YR2/1(湿)-7.5YR2/2(乾)、HC、未風化亜角礫  $\phi$ 1-10 cm(3%)、団粒状構造発達  
強度  $\phi$ 1-10 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 18、孔隙、細根含むおよび小根含む、非石灰質、層界波状判然

A2 (10-26 cm): 10YR2/1(湿)-10YR3/1(乾)、HC、未風化亜角礫  $\phi$ 2-50 mm(2%)、亜角塊状および  
角塊状構造発達強度  $\phi$ 10-100 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 30、細管状含む、  
細小根含む、非石灰質、層界波状判然

AB (26-32 cm): 7.5YR3/2(乾)、HC、未風化亜角礫  $\phi$ 2-10 mm(1%)、亜角塊状および角塊状構造  
発達中  $\phi$ 10-30 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 29、細管状含む、細小根あり、  
中石灰質、層界不規則明瞭

Bw (32-55 cm): 10YR5/4(乾)、HC、未風化亜角礫  $\phi$ 10-50 mm(1%)、壁状構造、粘着性弱、可塑  
性中、ち密度30、細管状含む、細小根まれにあり、極強石灰質、層界不規則漸変

Bkg1 (55-75 cm): 10YR5/8(乾)、鮮明な雲状斑すこぶる含む、HC、礫なし、壁状構造、粘着性  
弱、可塑性中、ち密度24、細管状含む、細根まれにあり、極強石灰質、層界不規則判然

Bkg2 (75-100+ cm): 10YR6/4, 7.5YR5.5/8(乾)、擬似グライ、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、  
可塑性中、ち密度22、細管状含む、細根まれにあり、極強石灰質

(6) Ivanovskoe (地点K-6)

調査年月日: 2007年7月29日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・田村憲司

調査地点: Ivanovskoe, Akmola State, Kazakhstan

緯度経度: N52°03'38.0" E71°34'53.3"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候



地形: 準平原平坦地

標高: 350 m

傾斜: なし

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄地(放棄後7年)

優占種: *Festuca sulcata*, *Artemisia frigid*, *Artemisia schrenkiana*, *Stipa capillata*

引用: 黒川 (2009)のIvanovskoe (IVA)

#### 断面形態

Oi (0-+1 cm)

A1 (0-7 cm): 7.5YR2/1(湿)-7.5YR3/1(乾)、HC、礫なし、亜角塊状構造発達中程度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 21、孔隙-、細根富むおよび小根含む、非石灰質、層界平坦明瞭

A2 (7-23 cm): 7.5YR2/1(湿)-7.5YR3/1(乾)、HC、礫なし、亜角塊状構造発達中程度  $\phi$ 5-35 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 24、孔隙-、細小中根あり、非石灰質、層界不規則明瞭

AB (23-40 cm): 7.5YR3/2(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度 26、細管状ありおよび小泡状あり、細根あり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bk1 (40-57 cm): 7.5YR4/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度28、細管状あり、細根あり、極強石灰質、層界波状明瞭

Bk2 (57-73 cm): 7.5YR5/4(乾)、 $\text{CaCO}_3$ の舌状斑、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度22、細管状含む、細大根まれにあり、極強石灰質、層界波状明瞭

Bk3 (73-100+ cm): 7.5YR4/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 20、細管状富む、細根まれにあり、強石灰質

<その他: B層深くまでA層の舌状貫入が認められる>

#### (7) Klyuchi (地点K-7)

調査年月日: 2007年7月30日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・田村憲司

調査地点: Klyuchi, Akmola State, Kazakhstan

緯度経度: N51°33'22.8" E71°16'04.7"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 平原平坦地

標高: 425 m

傾斜: なし

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 耕作放棄地(放棄後50年)

優占種: *Helictotrichon desertorum*, *Festuca sulcata*, *Artemisia frigid*, *Plantago lanceolata*, *Scaligeria setacea*, *Stipa capillata*, *Stipa lessingiana*

引用: 黒川 (2009)のKlyuchi (KLY)

#### 断面形態

Oi (0-+2 cm)

A1 (0-8 cm): 7.5YR2/1(湿)-7.5YR3/2(乾)、SiC、礫なし、団粒状構造発達中程度  $\phi$ 2-10 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 23、孔隙-、細小根富むおよび中根まれにあり、非石灰質、

層界波状判然

A2 (8-28 cm): 7.5YR2/1(湿)-7.5YR3/2(乾)、SiC、礫なし、亜角塊状構造発達強度  $\phi$ 10-50 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 31、細管状あり、細根含む-小根あり-中根まれにあり、非石灰質、層界不規則明瞭

Bk1 (28-53 cm): 7.5YR4/2(乾)、LiC、礫なし、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 10 cm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細管状含む、細根あり、強石灰質、層界不規則漸変

Bk2 (53-78 cm): 7.5YR5/3(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度31、細管状富む、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状漸変

Bk3 (78-95 cm): 7.5YR5/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度33、細管状富む、根なし、極強石灰質

#### (8) Alga (地点K-8)

調査年月日: 2007年8月1日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 田村憲司・神田隆志

調査地点: Alga, Aktoke State, Kazakhstan

緯度経度: N49°56'04.5" E57°15'35.6"

地質母岩: レス(下層: 河川堆積物)

堆積様式: 風成/河成

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地上部平坦面

標高: 335 m

傾斜: なし

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩: 亜円礫 $\phi$ 2-50 mm(10-20%)

人為: なし

優占種: *Festuca sulcata*, *Stipa capillata*, *Artemisia scoparia*, *Artemisia frigid*, *Carex physodes*, *Ephedra distachya*, *Poa stepposa*

引用: 黒川 (2009)のAlga (ALG)

断面形態

Oi (0-+0.5 cm)

A1 (0-12 cm): 10YR3/3(湿)-10YR5/3(乾)、SCL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(1%)、亜角塊状構造発達中程度  $\phi$ 5-40 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 21、細管状富む、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状判然

A2 (12-25 cm): 10YR3/4(湿)-10YR6/4(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可塑性なし、ち密度 26、孔隙-、細根あり、非石灰質、層界不規則明瞭

Bq (25-40 cm): 7.5YR6/6(乾)、SiCL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(10%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度 37、細管状含む、細根まれにあり、非石灰質、層界不規則判然

Bk (40-58 cm): 10YR5.5/8(乾)、SiCL、未風化亜円～円礫 $\phi$ 2-10 mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度24、細管状あり、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状明瞭

Bkg (58-88 cm): 10YR6/8(乾)、FeおよびMn結核 $\phi$ 2-3 cm (3%)、SiL、未風化亜円～円礫 $\phi$ 2-10 mm(5%)、亜角塊状構造発達中程度 $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度21、細管状あり、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状明瞭

2Bkg (88-100+ cm): 10YR5/8(乾)、Fe および Mn 結核  $\phi$ 2-3 cm (20%)、SiL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 5-10 mm(20%)、無構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 14、細管状あり、根なし、極強石灰質

<その他: Bq 層 HCl による発泡確認できず。後日 NaOH に溶解確認>

(9) Novorossiyskoy (地点K-9)

調査年月日: 2007年8月5日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・黒川巧

調査地点: Novorossiyskoy, Aktobe State, Kazakhstan

緯度経度: N50°14'51.7" E57°57'11.9"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 平坦面

標高: 414 m

傾斜: なし

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩: 亜円、円、角礫 $\phi$ 2-50 mm(2%)

人為: 耕作放棄地(1980年に放棄)

優占種: *Festuca sulcata*, *Poa pratensis*, *Potentilla acaulis*, *Stipa capillata*

引用: 黒川 (2009)のNovorossiyskoy (NOV)

断面形態

Oi (0-+0.5 cm)

A1 (0-10 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4/3(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(1%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 1-55 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 26、細管状あり、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦判然

A2 (10-18 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4/3(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 1-65 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 30、孔隙-、細根あり、非石灰質、層界平坦明瞭

AB (18-28 cm): 10YR3/4(湿)-10YR4/4(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(10%)、壁状構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 31、孔隙-、細根まれにあり、非石灰質、層界平坦判然

Bw1 (28-45 cm): 10YR5/6(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(5%)、壁状構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度31、細管状含む、細根まれにあり、非石灰質、層界不規則明瞭

Bw2 (45-94 cm): 7.5YR5/8(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 2-10 mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度26、孔隙-、細小根まれにあり、非石灰質、層界波状判然

Bw3 (94-100+ cm): 7.5YR4/5(乾)、SL、未風化亜円～円礫  $\phi$ 5-10 mm(20%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-40 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 26、孔隙-、細根まれにあり、非石灰質

<その他: HCl 発泡 80 cm 付近の一部のみ。Bw2, 3 層に赤、黄、白、黒の斑紋あり>

(10) Olke (地点K-10)

調査年月日: 2007年8月4日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志

調査地点: Olke, Aktobe State, Kazakhstan

緯度経度: N50°17'24.5" E57°32'57.3"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地極緩斜面中部

標高: 247 m

傾斜: N10°W, 2°

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩: 亜円、円、角礫 $\phi$ 2-20 mm(5%)および $\phi$ 30-50 cm(1%)

人為: 耕作放棄地(2002年に放棄)

優占種: *Artemisia vulgaris*, *Achillea millefolium*, *Agropyron repens*, *Carduus stenocephalus*, *Ceratocarpus arenarius*, *Cichorium intybus*, *Kochia prostrata*, *Polygonum aviculare*, *Salvia stepposa*

引用: 黒川 (2009)のOlke (OLK)

#### 断面形態

Oi (0+0.5 cm)

A1 (0-13 cm): 10YR2/2(湿)-10YR3/4(乾)、SiC、未風化亜円および亜角礫  $\phi$ 2-50 mm(1%)、亜角塊状構造発達強度  $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 9、細管状含む、細根富むおよび小中根まれにあり、非石灰質、層界平坦判然

A2 (13-27 cm): 10YR2/2(湿)-10YR3/3(乾)、SiC、未風化亜円および亜角礫  $\phi$ 2-50 mm(1%)、亜角塊状構造発達強度  $\phi$ 5-85 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 26、細管状富むおよび小管状含む、細根ありおよび小根まれにあり、非石灰質、層界平坦明瞭

AB (27-53 cm): 10YR3/4(乾)、HC、未風化円～亜角礫  $\phi$ 2-100 mm(3%)、亜角塊状構造発達中程度  $\phi$ 5-55 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 31、細管状含むおよび小管状あり、細根ありおよび小根まれにあり、非石灰質、層界平坦判然

Bk1 (53-80 cm): 10YR6/6(乾)、HC、未風化亜円および亜角礫 $\phi$ 2-50 mm(1%)、亜角塊状構造発達中程度 $\phi$ 5-70 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度33、細管状富むおよび小小泡状あり、細根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bk2 (80-100+ cm): 10YR5/8(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度28、細管状富む、根なし、極強石灰質、層界波状判然

#### 4-2-2. カザフスタン土壌断面の理化学性および粘土鉱物組成

各地点の土壌断面層別試料の理化学性を表 4-2-2 に示した。本結果の一部(表 4-2-2 中、K-5～K-10 の太字以外)は黒川(2009)から引用した。ここで、本研究で調査を行ったカザフスタン 10 地点は、Aridity Index による気候区分を行うと、湿潤地域は K-1、半乾燥地域(湿潤)は、K-4～K-7、半乾燥地域(典型)は、K-2、K-3、K-8～10 に分けられる。以下、これら気候区分ごとに表層土壌の結果を中心に記述する。

各地点の pH(H<sub>2</sub>O)は、湿潤地域の K-1 では 5.7、半乾燥地域(湿潤)では、6.7-8.0、半乾燥地域(典型)では、6.1-8.5 であり、湿潤地域 K-1 で低い値を示した。有機炭素量は、湿潤地域 K-1 では、65.67 (g/kg)、半乾燥地域(湿潤)では、21.25-43.68 (g/kg)、半乾燥地(典型)では、11.56-24.53 (g/kg)であり、湿潤地域 K-1 および半乾燥地域(湿潤)の K-5、K-6、K-7 で高い値を示した。全窒素量についても有機炭素量と同様の傾向を示し、湿潤地域 K-1 (6.61 g/kg)および半乾燥地域(湿潤)の K-5、K-6、K-7 (3.90-4.10 g/kg)で高い値を示した。C/N は、湿潤地域では 9.9、半乾燥地域(湿潤)では 10.0-11.1、半乾燥地域(典型)では、7.6-11.0 となり、半乾燥地域(典型)の K-2 と K-3 で特に低い値を示した(8.7、7.6)。表層土壌の CaCO<sub>3</sub> 量は、半乾燥地域(典型)の K-3 (11.99%)および半乾燥地域(湿潤)の K-4 (9.61%)を除き、3%以下の低い値を示した。また、K-8 と K-9 では、断面全体を通して、CaCO<sub>3</sub> 量が 2%以下と低い値であった。粘土含量は、湿潤地域の K-1 では 43.3 (%)、半乾燥地域(湿潤)では、18.5-41.6 (%)、半乾燥地域(典型)では、12.8-51.7 (%)であり、半乾燥地域(典型)の K-3 において、51.7 (%)と高い値となった。また、断面全体を通して、CaCO<sub>3</sub> 量が 2%以下であった、K-8 と K-9 および K-2 において砂含量が 70%以上の高い値を示した。

表層土壌中の結晶性、非晶質および有機物結合態の各形態の Fe、Al および有機物結合態 Ca 量について、Fed-o は、3.29-16.60 (g/kg)を示し、K-5～K-10 のカザフスタン北部の中西部で高

い値であった(7.64-16.60 g/kg)。Feo および Alo は、それぞれ 0.52-2.17、0.43-2.18 (g/kg)を示し、湿潤地域の K-1 で最も高い値を示した。Fep および Alp は、全地点で低い値を示し、それぞれ 0.01-0.87、0.02-1.30 (g/kg)であり、Feo および Alo と同様に、湿潤地域の K-1 で最も高い値を示した。一方、Cap は 0.95-8.04 と、Fe や Al と比較して高い値を示し、湿潤地域では、5.43 (g/kg)、半乾燥地域(湿潤)では、3.06-8.04 (g/kg)、半乾燥地域(典型)では、0.95-5.88 (g/kg)であった。

カザフスタン表層土壌の粘土鉱物組成の結果を図 4-2-2 に示した。K-3 および K-10 では、Mg 飽和試料のグリセロール処理により、1.4 nm のピークの一部が 1.7 nm に移行していることから、スメクタイトを含んでいることが示された。また、K-1 および K-7 において、K 飽和 550°C 処理の 1.4 nm のピークが顕著に認められることから、クロライトの存在が確認された。全地点に共通して、Mg 飽和試料の 1.0 nm のピークと K 飽和 550°C 処理による 0.7 nm のピーク消失が確認できることから、イライトおよびカオリン鉱物を含んでいることが示された。

#### 4-2-3. 表層土壌における各粒径画分中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成

カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量および全窒素量を表 4-2-3 と図 4-2-3、4-2-4 に、安定同位体組成の結果を表 4-2-4 と図 4-2-5、4-2-6 に示した。

全地点の粒径別画分中の有機炭素量は、粘土画分中で 5.29-31.03 (g/kg soil)、シルト画分中で 4.09-26.19 (g/kg soil)、砂画分中で 0.23-6.39 (g/kg soil)となった。気候区分別に示すと、粘土画分は、半乾燥地域(典型)では、5.29-15.33 (g/kg soil)、半乾燥地域(湿潤)では、6.19-24.01 (g/kg soil)、湿潤地域では、31.03 (g/kg soil)となり、湿潤になるほど多くなる傾向が認められた。また、半乾燥地域(典型)の K-10 および半乾燥地域(湿潤)K-4 では、明らかに他の同気候地点とは異なる値を示した。シルト画分および砂画分は、それぞれ、半乾燥地域(典型)では、4.09-9.00、0.23-0.91(g/kg soil)、半乾燥地域(湿潤)では、12.20-17.39、1.10-6.39 (g/kg soil)、湿潤地域では、26.19、2.85 (g/kg soil)を示し、乾燥～湿潤になるに従い、有機炭素量が増加する結果となった。また、半乾燥地域(湿潤)の K-4 では、砂画分中の有機炭素量が他の地点と比較して、顕著に高い値を示した。

各粒径別画分中の全窒素量は、有機炭素量と同様に、湿潤な地域ほど各画分中の量が増加する結果となったが、半乾燥地域(湿潤)の K-4 では、粘土画分で少なく、砂画分中で多い結果であった。

次に、各粒径別画分中に存在する有機炭素量の割合については、粘土画分中に含まれる有機炭素の割合は、半乾燥地域(典型)では、42.9-62.5 (%)、半乾燥地域(湿潤)では、29.1-55.6 (%)、湿潤地域では、47.2 (%)となった。シルト画分および砂画分中の有機炭素量の割合は、それぞれ、半乾燥地域(典型)では、32.4-43.6、1.6-7.4 (%)、半乾燥地域(湿潤)では、39.8-57.4、2.5-30.1 (%)、湿潤地域では、39.9、4.3 (%)であった。この結果より、粘土画分中で最も多く存在していたが、半乾燥地域(典型)の K-8 および半乾燥地域(湿潤)の K-4 においては、シルト画分中に最も多く、砂画分中にも他の地点と比較して、明らかに多い結果となった。全窒素量についても同様の傾向を示した。

粘土画分、シルト画分、砂画分中の C/N は、それぞれ、半乾燥地域(典型)では、6.8-10.3、8.9-13.2、9.9-20.1、半乾燥地域(湿潤)では、7.9-11.2、13.1-15.2、16.4-31.5、湿潤地域では、9.5、13.9、17.6 となり、各地域とも粘土画分で最も小さい値を示した。

各粒径別画分中の  $\delta^{13}\text{C}$  は、K-3 の全画分および K-4 の砂画分で他の地点より明らかに高い値を示した。また、多くの地点で粘土画分の  $\delta^{13}\text{C}$  が最も高い値を示したが、K-10 および K-2 の砂画分の値は粘土画分と同等の値を示した。一方、 $\delta^{15}\text{N}$  は全ての地点において、粘土画分がシルト画分の  $\delta^{15}\text{N}$  よりも高い値を示した。



Site: K-1  
Land-use:  
Preserved grassland  
  
Soil: **Phaeozem**



Site: K-2  
Land-use:  
Abandoned field  
(11 years)  
Soil: **Kastanozem**



Site: K-3  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Calcisol**



Site: K-4  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Calcisol**



Site: K-5  
Land-use:  
Preserved grassland  
  
Soil: **Chernozem**



Site: K-6  
Land-use:  
Abandoned field  
(7 years)  
Soil: **Chernozem**



図 4-2-1 カザフスタンの土壌断面写真および景観写真  
(K-1~K-4 は Tamura and Takuwa (2005)、K-5 および K-6 は黒川(2009)から引用)





Site: K-7  
Land-use:  
Abandoned field  
(51 years)  
Soil: **Chernozem**



Site: K-8  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Durisol**



Site: K-9  
Land-use:  
Abandoned field  
(27 years)  
Soil: **Cambisol**



Site: K-10  
Land-use:  
Abandoned field  
(5 years)  
Soil: **Chernozem**



図 4-2-1(続き) カザフスタンの土壌断面写真および景観写真  
(K-7～K-10 は黒川(2009)から引用)

表 4-2-1 カザフスタン土壤の土壌断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (湿)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HCl反応*	その他 (斑紋結核など)	
K-1	Alay Ridder	地表の露岩:なし										
		Oi	+3-0									
		A1	0-12	7.5YR2/1	HC	半風化角礫02-10mm(<5%)	団粒構造強度01-3mm	弱弱	17	-		
		A2	12-28	7.5YR2/1	HC	半風化角礫02-10mm(5%)	団粒構造強度01-3mm	弱中	21	-		
		A3	28-43	7.5YR2/1	SC	半風化角礫02-10mm(10%)	粒状構造強度0<1mm	弱弱	21	-		
		AB	43-53	7.5YR3/3	SCL	半風化角礫02-10mm(20%), Ø5-10cm(<5%)	亜角塊状構造弱度05-10mm	弱弱	26	-		
		Bw	53-64	7.5YR5/3	SCL	半風化～風化角礫02-20mm(40%)	亜角塊状構造弱度05-10mm	弱弱	26	-		
BC	64-85+	7.5YR5/2	S	礫土(半風化～風化角礫)	-	-/-	28	-				
K-2	Efremovka	地表の露岩:なし										
		A1	0-11	10YR2/3	SL	なし	団粒構造中度01-5mm	弱弱	21	-		
		A2	11-20	10YR2/3	SL	なし	団粒構造中度01-3mm	弱弱	15	-		
		A3	20-35	10YR3/2	SKL	なし	亜角塊状構造中度05-30mm	弱中	23	-		
		AB	35-55	10YR3/4	SKL	なし	亜角塊状構造弱度05-30mm	弱中	25	-		
		Bk	55-90+	10YR6/4	SL	なし	壁状構造	弱弱	33	+++	クロトピナあり	
		地表の露岩:亜円礫02-10mm(<5%)										
K-3	Shirokyi	AK1	0-17	10YR3/4	HC	半風化亜円礫02-10mm(<5%)	亜角塊状構造弱度05-30mm	中強	26	+++	最表層部にクラスト(0-12cm)極強石	
		AK2	17-33	7.5YR5/4	HC	半風化亜円礫02-10mm(<5%)	壁状構造	弱中	30	+++	灰質)+地表に地衣のマント。	
		BK1	33-52	7.5YR5/4	HC	なし	壁状構造	弱弱	34	+++		
		BK2	52-72	7.5YR5/6	HC	なし	角塊状構造中度05-30mm	弱中	30	+++		
		BK3	72-90+	7.5YR5/6	HC	なし	角塊状構造弱度05-20mm	弱弱	29	+++		
		地表の露岩:なし										
		Oi	+1-0									
K-4	Balgabek Gambul	AK	0-10	10YR3/4	SIC	なし	団粒構造弱度01-3mm, 亜角塊状構造中度05-30mm	弱弱	18	+++		
							亜角塊状構造中度05-30mm					
		BK1	10-32	10YR6/3	SIC	なし	亜角塊状構造中度05-30mm	弱中	20	+++		
		BK2	32-45	10YR6/4	SIC	なし	亜角塊状構造弱度05-50mm	弱中	25	+++		
		CK	45-110+	10YR7/3	SL	なし	壁状構造	弱弱	31	+++		
		地表の露岩:Ø10-50mm(10-20%)										
		Oi	+1-0									
K-5	Ereymenau	A1	0-10	7.5YR2/2	HC	未風化亜角礫01-10mm(3%)	団粒構造強度01-10mm	弱中	18	-		
		A2	10-26	10YR3/1	HC	未風化亜角礫02-50mm(2%)	亜角および角塊状構造強度010-100mm	弱強	30	-		
		AB	26-32	7.5YR3/2	HC	未風化亜角礫02-10mm(1%)	亜角および角塊状構造中度010-30mm	弱強	29	+		
		Bw	32-55	10YR5/4	HC	未風化亜角礫010-50mm(1%)	壁状構造	弱中	30	+++		
		Bkg1	55-75	10YR5/8	HC	なし	壁状構造	弱中	24	+++	鮮明な雲状斑すこぶる重む	
		Bkg2	75-100+	10YR6/4	HC	なし	壁状構造	弱中	22	+++	疑似グライ層	
			7.5YR5.5/8									

本結果のK-1〜K-4はYamamoto and Tamura (2004)、K-5は黒川(2009)から引用。

\*: -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質



表 4-2-1(続き) カザフスタン土壌の土壌断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (湿)	土性	礫	構造	粘着性・可塑性	硬度 (mm)	HCl反応*	その他 (斑紋・結核など)	
K-6	Ivanovskoe	地表面の露岩: なし										
		Oi	+1-0									
		A1	0-7	7.5YR3/1	7.5YR2/1	HC	なし	弱・中	21	-		
		A2	7-23	7.5YR3/1	7.5YR2/1	HC	なし	弱・中	24	-		
		AB	23-40	7.5YR3/2		HC	なし	弱・中	26	+++		
		Bk1	40-57	7.5YR4/4		HC	なし	弱・中	28	+++		B層深くまでA層の舌状貫入
		Bk2	57-73	7.5YR5/4		HC	なし	弱・強	22	+++		CaCO <sub>3</sub> の舌状斑
		Bk3	73-100+	7.5YR4/4		HC	なし	壁状構造	20	++		
		地表面の露岩: なし										
		Oi	+2-0									
K-7	Klyuchi	A1	0-8	7.5YR3/2	7.5YR2/1	SC	なし	弱・弱	23	-		
		A2	8-28	7.5YR3/2	7.5YR2/1	SIC	なし	弱・弱	31	-		
		Bk1	28-53	7.5YR4/2		Lic	なし	弱・弱	30	++		
		Bk2	53-78	7.5YR5/3		HC	なし	弱・中	31	+++		
		Bk3	78-95+	7.5YR5/4		HC	なし	壁状構造	33	+++		
		地表面の露岩: 亜円礫の2-50mm(10-20%)										
		Oi	+0.5-0									
		A1	0-12	10YR5/3	10YR3/3	SCL	未風化亜円～円礫の2-10mm(1%)	弱・弱	21	-		
		A2	12-25	10YR6/4	10YR3/4	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(3%)	弱・なし	26	-		
		Bq	25-40	7.5YR6/6		SKCL	未風化亜円～円礫の2-10mm(10%)	弱・中	37	-		NaOHに溶解
K-8	Alga	Bk	40-58	10YR5/5,8		SKCL	未風化亜円～円礫の2-10mm(5%)	弱・弱	24	+++		
		Bkg	58-88	10YR6/8		SIL	未風化亜円～円礫の2-10mm(5%)	弱・弱	21	+++		FeおよびMn結核の2-3cm(3%)
		2Bkg	88-100+	10YR5/8		SIL	未風化亜円～円礫の2-10mm(20%)	弱・弱	14	+++		FeおよびMn結核の2-3cm(20%)
		地表面の露岩: 亜円・円・角礫の2-50mm(2%)										
		Oi	+0.5-0									
		A1	0-10	10YR4/3	10YR4/3	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(1%)	なし/なし	26	-		
		A2	10-18	10YR4/3	10YR4/3	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(3%)	なし/なし	30	-		
		AB	18-28	10YR4/4	10YR4/4	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(10%)	なし/なし	31	-		
		Bw1	28-45	10YR3/6		SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(5%)	なし/なし	31	-		
		Bw2	45-94	7.5YR5/8		SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(5%)	なし/なし	26	-		80cm付近一部のみHCl発泡
Bw3	94-100+	7.5YR4/5		SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(20%)	なし/なし	26	-		赤黄白黒の斑紋あり		
K-9	Novorossiyskoye	地表面の露岩: 亜円・円・角礫の2-20mm(5%)および0.30-50cm(1%)										
		Oi	+0.5-0									
		A1	0-10	10YR4/3	10YR4/3	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(1%)	弱・強	9	-		
		A2	10-18	10YR4/3	10YR4/3	SIC	未風化亜円および亜角礫の2-50mm(1%)	弱・強	26	-		
		AB	18-28	10YR4/4	10YR4/4	HC	未風化亜円および亜角礫の2-50mm(1%)	弱・強	31	-		
		Bk1	27-53	10YR3/4		HC	未風化円～亜角礫の2-10mm(3%)	弱・強	31	-		
		Bk2	53-80	10YR6/6		HC	未風化円～亜角礫の2-10mm(3%)	弱・強	33	+++		
		Bk3	80-100+	10YR5/8		HC	未風化円～亜角礫の2-50mm(1%)	弱・強	28	+++		
		地表面の露岩: なし										
		Oi	+0.5-0									
K-10	Olke	A1	0-13	10YR3/4	10YR2/2	SC	未風化亜円および亜角礫の2-50mm(1%)	弱・強	9	-		
		A2	13-27	10YR3/3	10YR2/2	SIC	未風化亜円および亜角礫の2-50mm(1%)	弱・強	26	-		
		AB	27-53	10YR3/4		HC	未風化円～亜角礫の2-10mm(3%)	弱・強	31	-		
		Bk1	53-80	10YR6/6		HC	未風化円～亜角礫の2-10mm(3%)	弱・強	33	+++		
		Bk2	80-100+	10YR5/8		HC	なし	弱・強	28	+++		
		地表面の露岩: なし										
		Oi	+0.5-0									
		A1	0-10	10YR4/3	10YR4/3	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(1%)	なし/なし	26	-		
		A2	10-18	10YR4/3	10YR4/3	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(3%)	なし/なし	30	-		
		AB	18-28	10YR4/4	10YR4/4	SL	未風化亜円～円礫の2-10mm(10%)	なし/なし	31	-		

\*, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質



表 4-2-2(続き) カザフスタン土壌断面の理化学性

No.	深度 層位	pH	OC	TN	C/N	CaCO <sub>3</sub>	Exchangeable base				CEC	Particle size			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable						
							Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		Clay	Silt	Sand	Fe <sub>d-o</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Ca <sub>p</sub>	
(cm)	H <sub>2</sub> O	(g/kg)				(%)	cmol.kg <sup>-1</sup>	cmol.kg <sup>-1</sup>	cmol.kg <sup>-1</sup>	%				g/kg							
K-6	A1	0-7	7.4	40.78	4.08	10.0	2.29	30.4	4.79	3.48	2.08	29.7	41.6	25.0	33.4	8.34	1.19	1.27	0.13	0.19	6.25
	A2	7-23	8.2	25.39	2.34	10.9	3.16	32.6	11.8	0.23	1.34	28.4	49.0	19.7	31.3						
	AB	23-40	8.7	*12.18	1.33	9.2	7.51	42.3	15.5	0.54	0.74	25.0									
	Bk1	40-57	8.6	*3.24	0.32	10.1	16.66	47.1	10.9	1.11	0.49	22.0									
	Bk2	57-73	8.1	*1.42	0.13	11.0	9.17	186	8.65	3.30	0.42	19.6									
	Bk3	73-100+	8.8	*0.97	0.08	11.5	10.53	38.3	13.9	7.28	0.48	22.9									
K-7	A1	0-8	7.8	43.68	4.10	10.7	2.77	43.4	3.75	0.03	1.92	32.0	41.6	24.9	33.4	7.64	0.93	1.44	0.08	0.20	8.04
	A2	8-28	7.8	31.72	2.73	11.6	2.47	34.7	5.21	0.04	1.33	32.9	48.0	22.5	29.6						
	Bk1	28-53	8.5	*14.98	1.53	9.8	10.84	58.6	7.67	0.33	0.63	26.0									
	Bk2	53-78	8.9	*9.51	1.04	9.1	13.07	49.1	10.7	2.85	0.46	24.0									
	Bk3	78-95+	8.9	*6.03	0.65	9.3	16.56	47.1	9.36	6.00	0.52	22.1									
K-8	A1	0-12	6.1	12.34	1.12	11.0	0.37	4.19	0.75	0.20	0.47	7.72	13.2	17.5	69.4	9.62	0.81	0.46	0.24	0.33	0.95
	A2	12-25	7.0	2.455	0.22	11.3	0.28	2.88	0.88	0.48	0.08	3.74	7.5	13.9	78.6						
	Bq	25-40	8.5	3.35	0.38	8.8	0.77	3.63	6.06	2.00	0.25	10.6									
	Bk	40-58	8.4	*3.02	0.33	9.1	1.67	24.8	6.58	3.54	0.21	9.41									
	Bkg	58-88	8.7	*0.93	0.06	14.3	0.89	7.87	4.61	3.98	0.13	4.44									
	2Bkg	88-100+	8.6	*0.82	0.05	16.0	1.11	29.2	3.51	4.51	0.10	4.27									
K-9	A1	0-10	6.8	11.97	1.20	10.0	0.62	5.36	0.98	0.04	0.44	6.62	12.8	11.3	76.0	12.63	0.65	0.43	0.23	0.26	1.28
	A2	10-18	7.1	7.42	0.70	10.7	0.60	7.13	1.10	0.03	0.29	7.72	11.3	10.9	77.8						
	AB	18-28	7.2	4.50	0.47	9.5	0.33	5.08	0.80	0.03	0.15	6.09	11.8	11.5	76.7						
	Bw1	28-45	7.3	4.31	0.49	8.8	0.57	7.10	1.86	0.03	0.25	9.33									
	Bw2	45-94	7.3	2.13	0.21	10.1	0.30	3.14	0.93	0.04	0.10	4.02									
	Bw3	94-100+	7.5	1.48	0.15	9.7	0.27	2.59	0.80	0.03	0.05	3.41									
K-10	A1	0-13	8.1	24.53	2.50	9.8	2.15	28.6	3.28	0.07	2.55	28.0	38.2	22.9	38.9	9.71	0.82	1.19	0.08	0.23	5.88
	A2	13-27	8.0	24.62	2.13	11.5	2.07	28.8	3.97	0.05	0.96	28.5	36.2	24.3	39.4						
	AB	27-53	7.9	14.6	1.44	10.1	1.87	26.0	6.43	0.04	0.63	26.7									
	Bk1	53-80	8.3	*5.51	0.56	9.9	19.92	39.4	8.71	0.05	0.23	16.5									
	Bk2	80-100+	8.4	*2.63	0.25	10.6	17.91	42.5	9.35	0.06	0.10	12.9									

太字以外: 黒川 (2009)から引用。

\* 1MH<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>で炭酸塩処理後にNC-Analyzerで測定。

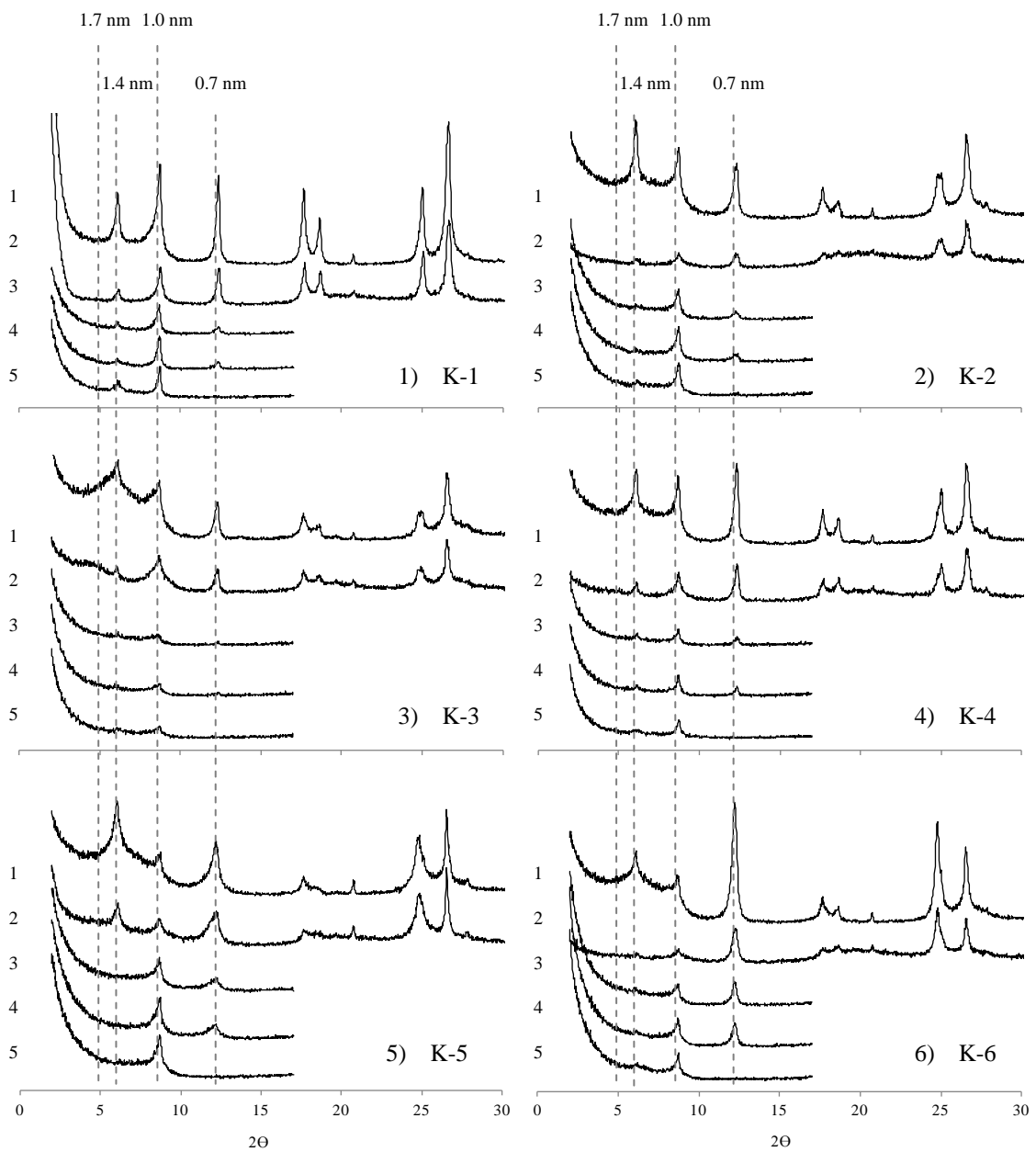


図 4-2-2 カザフスタン表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和 2: Mg 飽和グリセロール処理  
 3: K 飽和 4: K 飽和 300℃処理 5: K 飽和 500℃処理

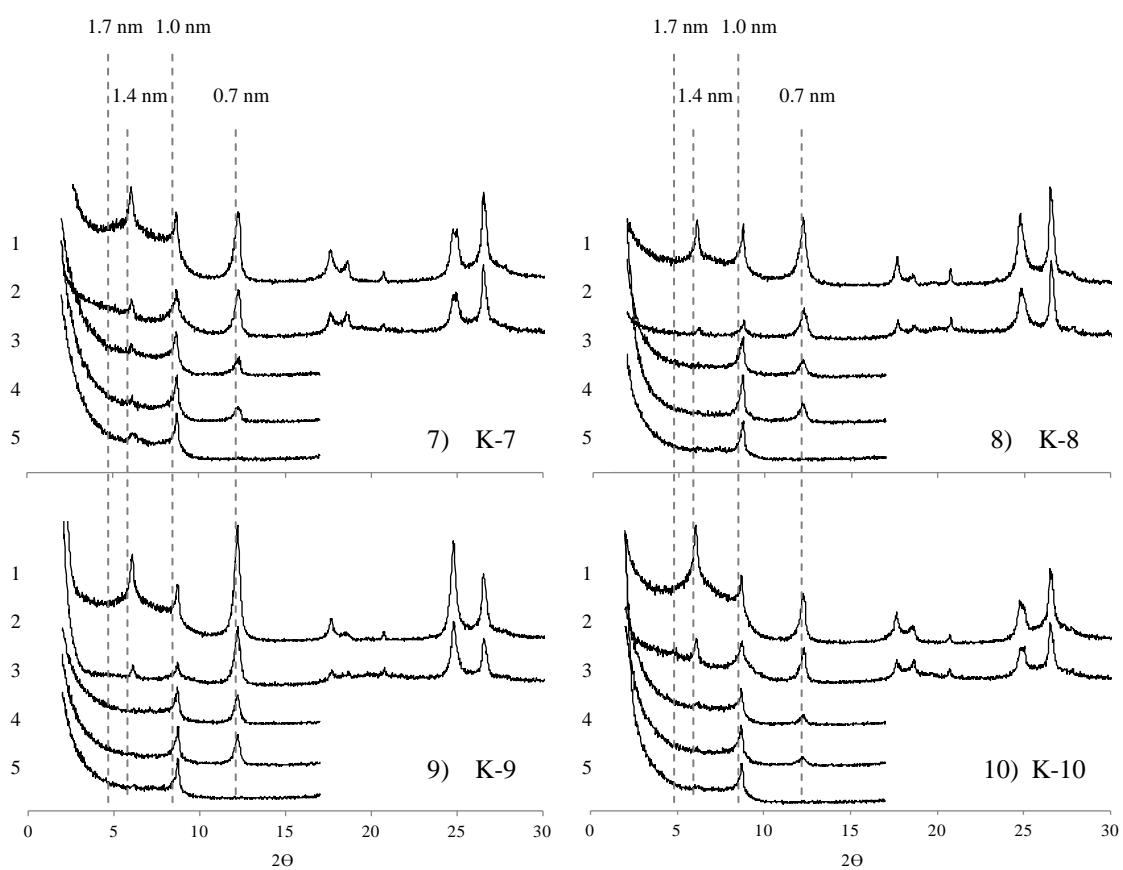


図 4-2-2(続き) カザフスタン表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和 2: Mg 飽和グリセロール処理  
 3: K 飽和 4: K 飽和 300℃処理 5: K 飽和 500℃処理

表 4-2-3 カザフスタン表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 

調査地点*	気候区分**	乾燥度指数	回収率		粒径画分中の有機炭素量および全窒素量						表層土壌中の各粒径画分の有機炭素と全窒素量の割合						
			Weight	OC (%)	TN	有機炭素量			全窒素量			有機炭素量			全窒素量		
						Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand
(AI)																	
K(G)-3		0.32	94.1	92.8	94.6	8.31	4.58	0.23	1.22	0.51	0.02	58.8	32.4	1.6	65.8	27.7	1.1
K(G)-8		0.34	99.9	93.9	96.7	5.29	5.39	0.91	0.58	0.45	0.05	42.9	43.6	7.4	51.8	40.5	4.4
K(A)-10	SA-M	0.35	98.8	101.3	89.8	15.33	9.00	0.51	1.49	0.72	0.04	62.5	36.7	2.1	59.5	28.9	1.5
K(A)-2		0.37	99.2	100.8	84.2	7.13	4.09	0.43	0.76	0.31	0.04	61.7	35.4	3.7	57.5	23.4	3.3
K(A)-9		0.38	99.9	99.4	89.2	6.18	5.22	0.50	0.64	0.40	0.02	51.7	43.6	4.2	53.8	33.3	2.1
K(P)-5		0.44	99.4	97.9	85.7	24.01	17.19	1.10	2.14	1.13	0.07	55.6	39.8	2.5	54.9	29.1	1.7
K(A)-7		0.45	98.5	96.8	89.2	23.54	17.39	1.35	2.35	1.25	0.06	53.9	39.8	3.1	57.3	30.5	1.4
K(G)-4	SA-W	0.46	95.7	116.6	86.5	6.19	12.20	6.39	0.78	0.85	0.20	29.1	57.4	30.1	36.8	40.1	9.6
K(A)-6		0.46	99.7	98.9	88.8	22.03	16.65	1.62	2.25	1.28	0.10	54.0	40.8	4.0	55.2	31.3	2.4
K(P)-1	HM	0.84	99.2	91.5	80.2	31.03	26.19	2.85	3.25	1.89	0.16	47.2	39.9	4.3	49.2	28.5	2.5

\* 0内は土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, P: Preserved grassland.  
\*\* SA-M: Semi-arid region (moderate), SA-W: Semi-arid region (wet), HM: Humid

調査地点*	C/N		$\delta^{13}\text{C}$		$\delta^{15}\text{N}$		
	Clay	Silt	Sand	Bulk	Silt	Clay	Silt
	(‰)						
K(G)-3	6.8	8.9	11.2	-22.7	-23.3	4.34	5.17
K(G)-8	9.1	11.9	18.4	-25.1	-26.0	5.97	6.91
K(A)-10	10.3	12.5	13.9	-24.5	-24.1	5.71	6.65
K(A)-2	9.4	13.2	9.9	-24.5	-24.4	5.50	6.30
K(A)-9	9.6	13.1	20.1	-25.0	-25.5	4.90	5.83
K(P)-5	11.2	15.2	16.4	-25.2	-24.8	4.25	5.02
K(A)-7	10.0	13.9	23.0	-25.3	-24.9	3.59	4.14
K(G)-4	7.9	14.4	31.5	-24.0	-24.6	3.42	4.97
K(A)-6	9.8	13.1	16.8	-25.2	-24.9	6.09	6.99
K(P)-1	9.5	13.9	17.6	-25.5	-24.9	4.07	5.37

\* 0内は土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, P: Preserved grassland.

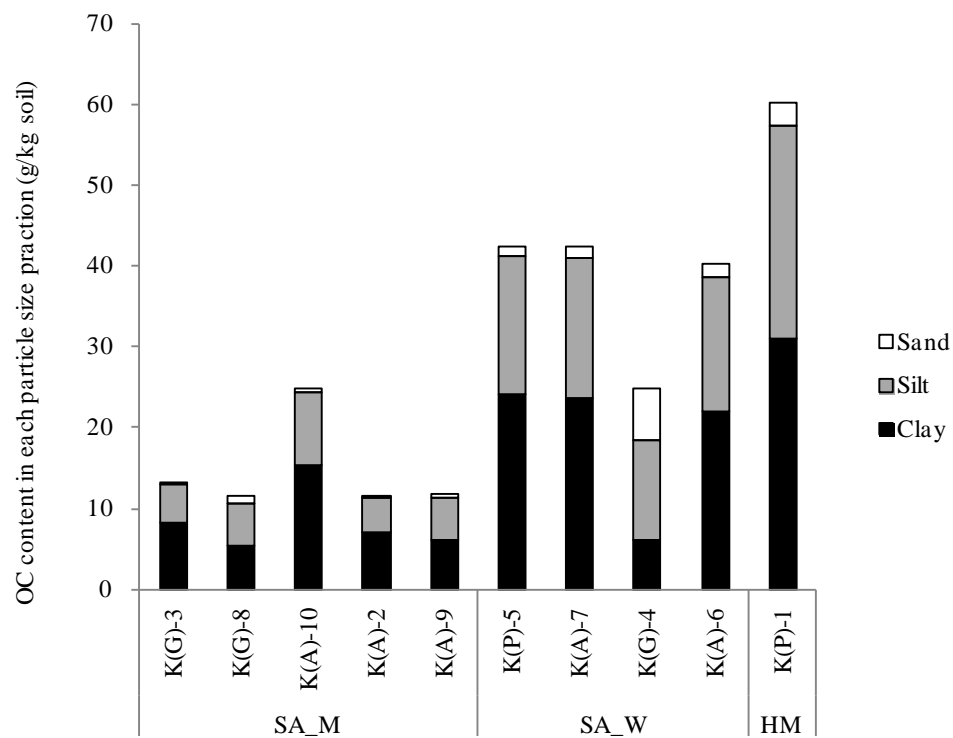


図 4-2-3 カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量  
[0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, P: Preserved grassland]

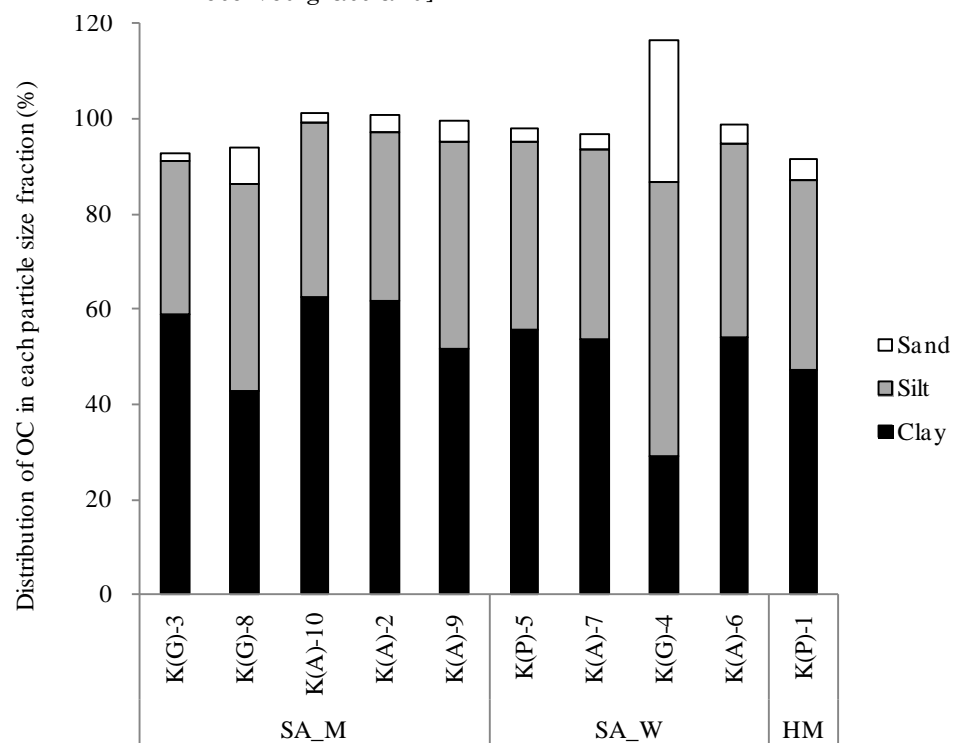


図 4-2-4 カザフスタン表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合  
[0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, P: Preserved grassland]

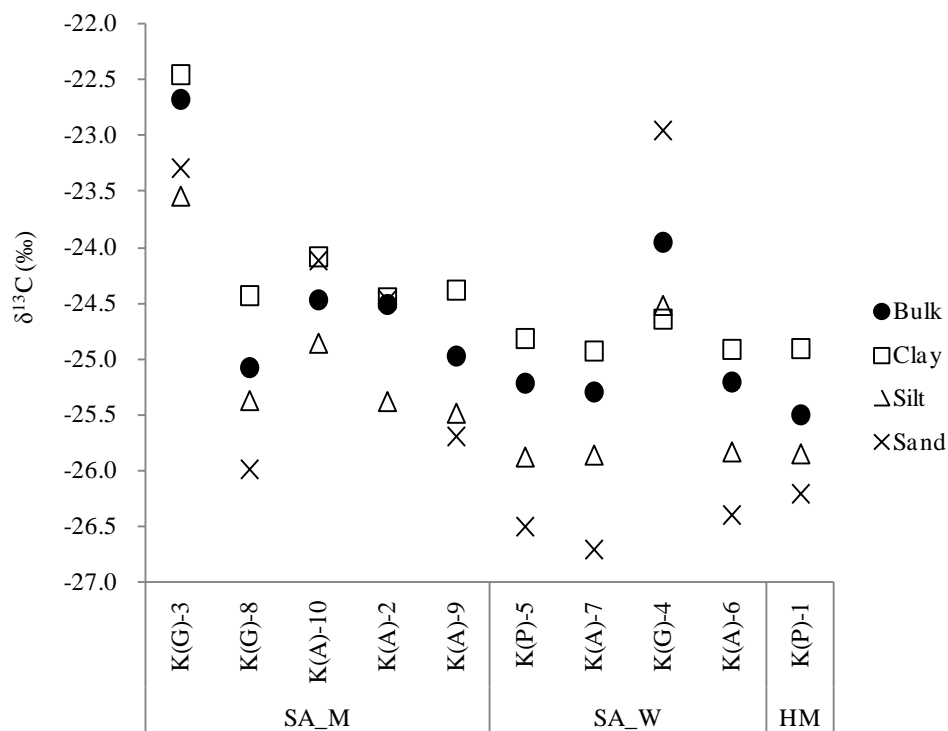


図 4-2-5 カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{13}\text{C}$   
 [0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, P: Preserved grassland]

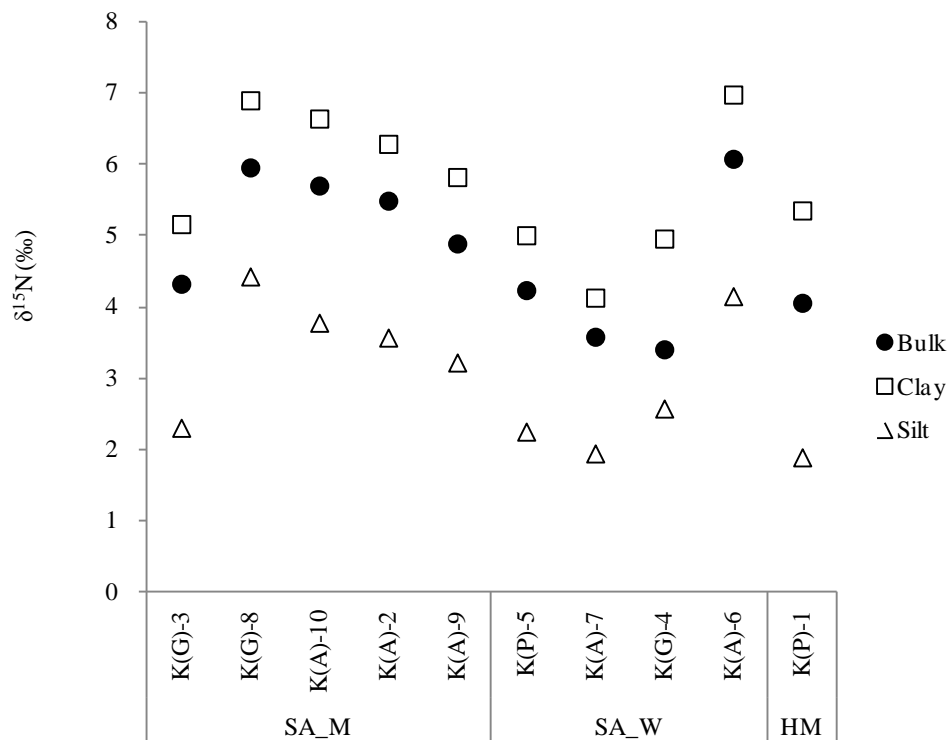


図 4-2-6 カザフスタン表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{15}\text{N}$   
 [0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, P: Preserved grassland]



#### 4-3. 中国新疆ウイグル自治区における土壌断面形態および表層土壌の諸性質

##### 4-3-1. 土壌断面形態

各地点の土壌断面写真および景観を図 4-3-1 に示した。また、土壌断面調査の結果を表 4-3-1 に示した。以下、土壌断面調査の結果について記述する。本結果は原田(2010)から引用した。

##### (1) Sangonghe (地点 X-1)

調査年月日: 2009 年 7 月 7 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 原田徹・神田隆志

調査地点: Sangonghe, Changji Hui Autonomous Prefecture, Xinjiang, China

緯度経度: N44°00'11.6" E88°03'26.2"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 山地溪谷流域の丘陵地上部緩斜面中部

標高: 1098 m

傾斜: N10°W, 7.5°

侵食: シート侵食中度

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角および亜円礫  $\phi$ 2-3 cm(1%)

人為: 放牧(調査地周辺は自然保護区観光地、断面ポイントに隣接した場所は採草地)

主な植生: *Seriphidium borotalense*, *Sophora alopecuroides*, *Setaria viridis*,  
*Heteropappus altaicus*

引用: 原田(2010)の Site 1

##### 断面形態

Ak (0-12 cm): 10YR4/3(湿)-10YR6/4(乾)、SiC、礫なし、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 1-50 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 30、細管状富むおよび小中管状あり、細小根ありおよび中根まれにあり、極強石灰質、層界平坦判然

ABk (12-22 cm): 10YR4/3(湿)-10YR6/4(乾)、SiC、礫なし、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 1-10 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 24、細管状富むおよび小管状含む、細根ありおよび小中根まれにあり、極強石灰質、層界平坦判然

Bk (22-45 cm): 10YR6/3(乾)、SiC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度 36、細管状富むおよび小管状あり、細小根まれにあり、極強石灰質、層界平坦明瞭

Bck1 (45-74 cm): 10YR5/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 27、細管状含む、根なし、極強石灰質、層界平坦判然

Bck2 (74-100+ cm): 10YR5/3(乾)、SiC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度 28、細管状あり、根なし、極強石灰質

##### (2) Shuixigou (地点 X-2)

調査日: 2009 年 7 月 17 日

天候: 晴れのち曇り(調査前: 晴れ-夜間に雨)

調査者: 原田徹

調査地点: Shuixigou, Urumqi, Xinjiang, China

緯度経度: N43°29'35" E87°27'17"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 平坦

標高: 1612 m

傾斜: なし  
侵食: シート侵食中度  
排水性: 良好  
地表の露岩: 30%  
人為: 放牧(牛、鶏)  
優占種: *Artemisia obtusiloba*, *Setaria viridis*  
引用: 原田(2010)の Site 4

#### 断面形態

A (0-10 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4.5/3(乾)、SC、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 10-30 mm(10%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-50 mm、粘着性中、可塑性中、ち密度 20、細管状富む・小管状含む・中管状あり、細根富む・小根含む・中根あり・大根まれにあり、弱石灰質、層界平坦漸変  
Bw (10-28 cm): 10YR3/3(湿)-10YR5/3(乾)、SC、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 10-70 mm(7%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 10-20 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 28、細管状富む・小管状含む・中管状まれにあり、細根富む・小根あり・中大根まれにあり、弱石灰質、層界平坦漸変  
Bck1 (28-53 cm): 10YR4/2(乾)、LS、未風化～半風化亜角および亜円礫  $\phi$ 5-70 mm(20%)、無構造、粘着性弱、可塑性なし、ち密度 10、細管状含むおよび小管状あり、細根富む・小根あり・中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭  
Bck2 (53-78 cm): 2.5Y5/1.5(乾)、S、未風化～半風化亜角および亜円礫  $\phi$ 5-60 mm(25%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 12、孔隙-、細根含む・小根あり・中根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然  
Ck (78-100+ cm): 2.5Y5/1(乾)、S、礫土(未風化～半風化角～亜円礫  $\phi$ 5-70 mm)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 22、孔隙-、根なし、極強石灰質  
<その他: Bck1,2 層礫部分に  $\text{CaCO}_3$  付着あり>

#### (3) Juhuatai (地点 X-3)

調査年月日: 2009 年 7 月 18 日  
天候: 晴れ(調査前: 晴れ時々曇り)  
調査者: 原田徹  
調査地点: Juhuatai, Urumqi, Xinjiang, China  
緯度経度: N43°32'09.8" E87°09'16.0"  
地質母岩: -  
堆積様式: -  
気候: ステップ気候  
地形: 山麓斜面中部急斜面  
標高: 1743 m  
傾斜: S52°W, 21°  
侵食: シート侵食軽度  
排水性: 良好  
地表の露岩: なし  
人為: 禁牧  
優占種: *Stipa capillata*, *Carex melanantha*  
引用: 原田(2010)の Site 5

#### 断面形態

Ak (0-12 cm): 7.5YR4/3(湿)-10YR5/3(乾)、HC、未風化および半風化角～亜円礫  $\phi$ 5-25 mm(10%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 10-25 mm、粘着性中、可塑性極強、ち密度 27、細管状富むおよび小中管状あり、細根富むおよび小中根含む、極強石灰質、層界平坦判然

Bk (12-27 cm): 7.5YR4/4(湿)-10YR5/3(乾)、HC、未風化および半風化角～亜円礫  $\phi$ 10-25 mm(7%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-25 mm、粘着性中、可塑性強、ち密度 30、細管状富むおよび小管状含む、細小中根含む、極強石灰質、層界波状明瞭

Bck1 (27-50 cm): 7.5YR5/4(乾)、CaCO<sub>3</sub>結核  $\phi$ 15 mm (9/0)(2-5%)、HC、半風化～腐朽角～亜角礫  $\phi$ 5-10 mm(30%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 10-30 mm、粘着性中、可塑性強、ち密度 23、細管状富むおよび小管状含む、細小根含むおよび中根あり、極強石灰質、層界波状明瞭

Bck2 (50-65 cm): 5YR5/4(乾)、HC、未風化および半風化角～亜角礫  $\phi$ 5 mm(15%)、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 31、細管状富むおよび小管状含む、細小根ありおよび中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Ck (65-100+ cm): 10YR7/3(乾)、非常に鮮明な CaCO<sub>3</sub>結核(9/0)(1%)、HC、腐朽亜角礫  $\phi$ 5 mm、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 31、細小管状含む、細小根あり、極強石灰質

<その他: 地表に糞多数あり>

#### (4) Xiaodonggong (地点 X-4)

調査年月日: 2009 年 7 月 13 日  
 天候: くもり時々雨(調査前: 晴れ)  
 調査者: 原田徹・田村憲司・神田隆志  
 調査地点: Xiaodonggong, Altay Prefecture, Xinjiang, China  
 緯度経度: N47°53'45.2" E88°07'48.3"  
 地質母岩: 緑泥岩  
 堆積様式: 崩積成  
 気候: ステップ気候  
 地形: 山地山腹斜面中部  
 標高: 1046 m  
 傾斜: S78°W, 13°  
 侵食: 強度  
 排水性: 良好  
 地表の露岩: 角～亜角礫(50%)  
 人為: 過去にスキー場として利用。放牧。  
 優占種: *Bothriochloa ischaemum*, *Spiraea hypericifolia*, *Carex atrofusca*, *Echinops ritro*, *Stipa glomerata*  
 引用: 原田(2010)の Site 3

#### 断面形態

Ak (0-8 cm): 10YR5/3(乾)、SiL、未風化角～亜角礫  $\phi$ 5-50 mm(15%)(頁岩)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-15 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 25、細管状あり、細小根ありおよび中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

R (8-50+ cm): 細根ありおよび小根まれにあり、極強石灰質

#### (5) Saerbulake (地点X-5)

調査年月日: 2009年7月12日  
 天候: 晴れ(調査前: 晴れ)  
 調査者: 田村憲司・神田隆志・原田徹  
 調査地点: Saerbulake, Altay Prefecture, Xinjiang, China  
 緯度経度: N47°49'16.4" E88°06'04.9"  
 地質母岩: 斑レイ岩・花崗岩  
 堆積様式: 残積成  
 気候: ステップ気候

地形: 丘陵地凸形緩斜面上部  
標高: 917 m  
傾斜: S10°W, 10°  
侵食: シート侵食強度  
排水性: 良好  
地表の露岩: 円～亜角礫 $\phi$ <60 cm(20%)  
人為: 禁牧(10年前から禁牧)  
優占種: *Stipa capillata*, *Artemisia frigida*, *Carex atrofusca*, *Stipa glomerata*  
引用: 原田(2010)のSite 2

#### 断面形態

A (0-7 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、SiL、未風化および半風化亜円～亜角礫  $\phi$ 5-190 mm(7%)、  
亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 1-50 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細小管状孔  
隙含む、細根含むおよび小中根あり、非石灰質、層界平坦判然  
AB (7-21 cm): 10YR4/4(湿)-10YR6/6(乾)、SiL、未風化および半風化亜円～亜角礫  $\phi$ 20-140  
mm(10%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 33、細管状孔隙富むおよび大  
管状孔隙あり、細小根ありおよび中根まれにあり、弱石灰質、層界波状判然  
Bk1 (21-45 cm): 10YR6/4(乾)、SiL、未風化および半風化円～亜角礫  $\phi$ 30-110 mm(20%)、壁状  
構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 36、細管状孔隙あり、細小根あり、弱石灰質、  
層界不規則漸変  
Bk2 (45-65 cm): 10YR6/4(乾)、SiL、未風化～腐朽円～亜角礫 $\phi$ 50-110 mm(30%)、壁状構造、粘  
着性弱、可塑性弱、ち密度32、細管状孔隙あり、細小根まれにあり、極強石灰質、  
層界波状明瞭  
Bk3 (65-100+ cm): 2.5Y7/4(乾)、SiL、未風化～半風化円～亜角礫 $\phi$ 50-80 mm(3%)、壁状構造、  
粘着性弱、可塑性弱、ち密度33、細管状孔隙あり、根なし、極強石灰質  
<その他: 円礫氷河による運搬の可能性。AB,Bk1層に巨礫、Bk2,Bk3層に花崗岩腐朽礫(円礫)。41-67  
cmにCaCO<sub>3</sub>集積層がスポット的に存在。>

#### (6) Saerqiaohe (地点X-6)

調査年月日: 2009年7月20日  
天候: 晴れ(調査前: 晴れ)  
調査者: 原田徹  
調査地点: Saerqiaohe, Hami Prefecture, Xinjiang, China  
緯度経度: N43°42'00.7" E92°16'31.9"  
地質母岩: -  
堆積様式: -  
気候: ステップ気候  
地形: 山麓平坦地  
標高: 2049 m  
傾斜: N30°W, 2°  
侵食: シート侵食中度  
排水性: 良好  
地表の露岩: 角～亜角礫 $\phi$ <20 cm(15%)  
人為: 放牧(牛、ヤギ等)  
優占種: *Stipa glareosa*, *Artemisia scoparia*, *Convolvulus lineatus*, *Ephedra glauca*,  
*Heteropappus altaicus*  
引用: 原田(2010)のSite 6

#### 断面形態

Ak (0-7 cm): 10YR4/4(湿)-10YR6/3(乾)、CL、未風化～半風化亜角～角礫  $\phi$ 5 mm(7%)、亜角塊  
状構造発達弱度  $\phi$ 5-15 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密 14、細小管状孔隙富むお

よび中管状孔隙あり、細小中根含む、強石灰質、層界平坦判然  
 Bk (7-22 cm): 10YR4/4(湿)-7.5YR6/3(乾)、CL、未風化～半風化亜角～角礫  $\phi$ 5-30mm(10%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度 31、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根富む-小根含む-中根あり-大根まれにあり、極強石灰質、層界波状明瞭  
 BCk (22-47 cm): 7.5YR6/3.5(乾)、SCL、未風化～風化亜角～角礫  $\phi$ 10-70 mm(10%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-10 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 32、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根富むおよび小根含む、極強石灰質、層界波状明瞭  
 Ck (47-80 cm): 7.5YR6/3(乾)、LS、未風化～風化亜角～角礫  $\phi$ 5-50 mm(30%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-10 mm、粘着性弱、可塑性なし、ち密度27、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細小根あり、極強石灰質、層界波状明瞭  
 R (80 cm-)

#### (7) Baishitou (地点X-7)

調査年月日: 2009年7月21日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 原田徹

調査地点: Baishitou, Hami Prefecture, Xinjiang, China

緯度経度: N43°27'31.3" E93°31'53.8"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 山麓平坦地

標高: 2028 m

傾斜: N35°E, 3°

侵食: シート侵食軽度

排水性: 良好

地表の露岩: 角～亜円礫  $\phi$ <25 cm(2%)

人為: 禁牧

優占種: *Stipa krylovii*, *Festuca sulcata*, *Artemisia rutifolia*

引用: 原田(2010)のSite 7

#### 断面形態

A (0-5 cm): 2.5Y4/3(湿)-2.5Y5/3(乾)、SiL、礫なし、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 7、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細小根富むおよび中根含む、非石灰質、層界平坦判然  
 AB (5-17 cm): 2.5Y4/3(湿)-10YR5/3(乾)、SiCL、礫なし、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 25、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根富む-小根含む-中根あり、非石灰質、層界平坦明瞭  
 Bk (17-40 cm): 2.5Y4/4(湿)-10YR5/3.5(乾)、SiCL、未風化～半風化亜角～亜円礫  $\phi$ 5 mm(2%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 29、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙含む、細根富むおよび小根あり、極強石灰質、層界波状判然  
 BCk (40-75 cm): 10YR6/3(乾)、SiL、未風化～半風化亜角～亜円礫  $\phi$ 5 mm(1%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度27、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙含む、細根ありおよび小根まれにあり、極強石灰質、層界平坦判然  
 Ck (75-100+ cm): 2.5Y6/2(乾)、SiL、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度28、細管状孔隙含むおよび小管状孔隙あり、細小根まれにあり、極強石灰質

#### 4-3-2. 中国新疆ウイグル自治区土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成

各地点の土壤断面層別試料の理化学性を表 4-3-2 に示した。本結果の一部(表 4-3-2 中の太字以外)は原田(2010)から引用した。

pH(H<sub>2</sub>O)は、表層では 8.11-9.09 と全ての地点で塩基性を示し、X-6 を除き、下層にいくほど増加した。有機炭素量は、5.40-20.00 (g/kg)の範囲となり、半乾燥地域(乾燥)では、8.19-20.00 (g/kg)、半乾燥地域(極乾燥)では、5.40-16.50 (g/kg)であった。全窒素量は、0.71-2.16 (g/kg)であり、半乾燥地域(乾燥)では、1.01-2.16 (g/kg)、半乾燥地域(極乾燥)では、0.71-1.87 (g/kg)であった。C/N は、全地点 10 以下を示し、7.6-9.3 と低い値を示した。CaCO<sub>3</sub> 量は、表層では 0.5-32.4 (%)と、X-4 で他の地点よりも明らかに高い値を示した。また、X-2 では全層位 3%以下と低い値であった。粘土含量は、9.8-43.6 (%)の範囲を示し、半乾燥地域(乾燥)では、24.0-43.6 (%)、半乾燥地域(極乾燥)では、9.8-17.0 (%)と、半乾燥地域(極乾燥)において、低い値となった。一方、砂含量は逆の傾向を示し、半乾燥地域(乾燥)では、21.3-47.7 (%)、半乾燥地域(極乾燥)では、50.7-78.3 (%)となった。

Fed-o は、X-3 を除き、4.16-5.01 (g/kg)の範囲を示したが、X-3 では 7.74 (g/kg)と高い値となった。Feo は、0.34-1.36 (g/kg)、Alo は、0.46-0.99 (g/kg)であった。Fep および Alp は全地点非常に少なく、それぞれ 0.2 (g/kg)以下であった。Cap は、1.33-4.39 (g/kg)の範囲を示し、Fep、Alp と比べ非常に高い値であった。

中国新疆ウイグル自治区表層土壌の粘土鉱物組成の結果を図 4-3-2 に示した。表層土壌の粘土鉱物組成は、各地点 Mg 飽和試料において、1.4 nm、1.0 nm、0.7 nm に明瞭なピークが認められた。X-1 および X-3 では、Mg 飽和試料のグリセロール処理で、1.4 nm ピークの一部が 1.7 nm に移行していることから、スメクタイトの存在が示された。この 1.7 nm のピークは、X-4、X-5 および X-6 においても確認されたが、他のピークと比較して微量であった。全地点に共通していたピークは、K 飽和 550℃処理試料の 1.4 nm ピークの残存があり、クロライトの存在が示された。特に、X-6 および X-7 では高いピークが確認された。その他、K 飽和試料の 0.7 nm に表れるピークが K 飽和 550℃処理で大部分消失することから、カオリン鉱物が存在すること、Mg 飽和处理で 1.0 nm に明瞭なピークが確認されることからイライトが存在することが全地点で示された。

#### 4-3-3. 表層土壌における各粒径画分中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成

中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量および全窒素量を表 4-3-3 と図 4-3-3、4-3-4 に、安定同位体組成の結果を表 4-3-4 と図 4-3-5、4-3-6 に示した。

各粒径画分中の有機炭素量は、粘土画分では 2.32-8.87 (g/kg)、39.3-50.8 (%), シルト画分中では 1.92-7.21 (g/kg)、35.5-45.5 (%), 砂画分中では 0.74-1.74 (g/kg)、7.0-15.5 (%)となり、他の国・地域に比べ、シルトおよび砂画分中に存在する割合が多い結果となった。また、X-4 では、粘土画分よりもシルト画分中に存在する有機炭素量が多くなった。

C/N は、粘土画分では 6.3-8.6、シルト画分では 6.8-10.8、砂画分では 8.2-14.6 となり、粘土画分で最も小さくなった。多くの地点で粘土画分<シルト画分<砂画分の順に大きい値を示したが、X-1 のシルト画分および X-4 の砂画分ではこの傾向とは異なり、粘土画分よりも小さい値となった。

δ<sup>13</sup>C は、Bulk 土壌では-22.1~-25.3 (‰)、粘土画分では-22.0~-24.7 (‰)、シルト画分では-22.6~-26.2 (‰)、砂画分では-22.4~-26.6 (‰)を示し、全ての画分において、X-3 で最小値、X-5 で最大値となった。また、X-6、X-4、X-2 において、砂画分の値が粘土画分、シルト画分よりも大きくなった。

δ<sup>15</sup>N は、Bulk 土壌では 3.82~8.04、粘土画分では 4.88~8.90、シルト画分では 1.94~6.05 となり、X-3 で最大値、X-6 で最小値となった。また、粘土画分の値は、全地点において、シルト画分の値よりも明らかに大きい値を示した。



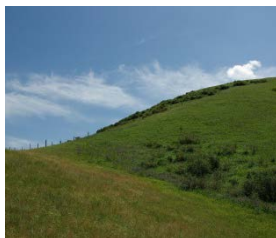
Site: X-1  
Land-use:  
Grazing grassland

Soil: **Regosol**



Site: X-2  
Land-use:  
Grazing grassland

Soil: **Kastanozem**



Site: X-3  
Land-use:  
Grazing Exclosure

Soil: **Cambisol**



Site: X-4  
Land-use:  
Abandoned field

Soil: **Leptosol**



図 4-3-1 中国新疆ウイグル自治区の土壌断面写真および景観写真  
(原田 (2010)から引用)



Site: X-5  
Land-use:  
Grazing grassland

Soil: **Regosol**



Site: X-6  
Land-use:  
Grazing grassland

Soil: **Regosol**



Site: X-7  
Land-use:  
Grazing Enclosure

Soil: **Cambisol**



図 4-3-1(続き) 中国新疆ウイグル自治区の土壌断面写真および景観写真  
(原田 (2010)から引用)



表 4-3-1 中国新疆ウイグル自治区土壤断面积

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (湿)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HCl反応*	その他 (斑紋結核など)
X-1	Sangonghe	地表面の露岩: 亜角および亜円礫Ø2-3cm(1%)									
		AK	0-12	10YR6/4	10YR4/3	SC	なし	弱強	30	+++	
		ABk	12-22	10YR6/4	10YR4/3	SC	亜角塊状構造 中度Ø1-50mm	弱強	24	+++	
		Bk	22-45	10YR6/3	SC	なし	亜角塊状構造 弱度Ø1-10mm	弱強	36	+++	
		Bck1	45-74	10YR5/4	HC	なし	壁状構造	中強	27	+++	
X-2	Shuixigou	Bck2	74-100+	10YR5/3	SC	なし	壁状構造	弱強	28	+++	
		地表面の露岩: (30%)									
		A	0-10	10YR4.5/3	10YR3/3	SC	未～半風化亜角礫Ø10-30mm(10%)	中/中	20	±	
		Bw	10-28	10YR5/3	10YR3/3	SC	未～半風化亜角礫Ø10-70mm(7%)	弱/中	28	±	
		Bck1	28-53	10YR4/2	LS	未～半風化亜角および亜円礫Ø5-70mm(20%)	無構造	弱/中	10	+++	礫部分にCaCO <sub>3</sub> 付着あり
X-3	Juhuatui	Bck2	53-78	2.5Y5/1.5	S	未～半風化亜角および亜円礫Ø5-60mm(25%)	無構造	なし/なし	12	+++	礫部分にCaCO <sub>3</sub> 付着あり
		Ck	78-100+	2.5Y5/1	S	礫土(未～半風化角～亜円礫Ø5-70mm)	無構造	なし/なし	22	+++	
		地表面の露岩: なし									
		AK	0-12	10YR5/3	7.5YR4/3	HC	未～半風化角～亜円礫Ø5-25mm(10%)	中極強	27	+++	地表面に黄多数あり
		Bk	12-27	10YR5/3	7.5YR4/4	HC	未～半風化角～亜円礫Ø10-25mm(7%)	中強	30	+++	
X-4	Xiaodonggong	Bck1	27-50	7.5YR5/4	HC	半風化～腐朽角～亜角礫Ø5-10mm(30%)	亜角塊状構造 弱度Ø5-25mm	中強	23	+++	CaCO <sub>3</sub> 結核Ø15mm(9/0)(2-5%)
		Bck2	50-65	5YR5/4	HC	未～半風化角～亜角礫Ø5mm(15%)	壁状構造	中強	31	+++	
		Ck	65-100+	10YR7/3	HC	腐朽亜角礫Ø5mm	壁状構造	中強	31	+++	非常に鮮明なCaCO <sub>3</sub> 結核(9/0)(1%)
		地表面の露岩: 角～亜角礫(50%)									
		AK	0-8	10YR5/3	SIL	未風化角～亜角礫Ø5-50mm(15%)	亜角塊状構造 弱度Ø5-15mm	弱/弱	25	+++	
X-5	Saertbulake	R	8-50+	-	-	-	-	-	-	+++	
		地表面の露岩: 円～亜角礫Ø<60cm(20%)									
		A	0-7	10YR5/4	10YR4/4	SIL	未～半風化亜円～亜角礫Ø0.5-19cm(7%)	弱/弱	30	-	
		AB	7-21	10YR6/6	10YR4/4	SIL	未～半風化亜円～亜角礫Ø2-14cm(10%)	弱/弱	33	±	
		Bk1	21-45	10YR6/4	SIL	未～半風化円～亜角礫Ø3-11cm(20%)	壁状構造	弱/弱	36	±	
X-6	Saertqaoke	Bk2	45-65	10YR6/4	SIL	未～腐朽円～亜角礫Ø5-11cm(30%)	壁状構造	弱/弱	32	+++	
		Bk3	65-100+	2.5Y7/4	SIL	未～半風化円～亜円礫Ø5-8cm(3%)	壁状構造	弱/弱	33	+++	
		地表面の露岩: 角～亜角礫Ø<20cm(15%)									
		AK	0-7	10YR6/3	10YR4/4	CL	未～半風化亜角～角礫Ø0.5cm(7%)	弱/中	14	++	
		Bk	7-22	7.5YR6/3	10YR4/4	CL	未～半風化亜角～角礫Ø0.5-3cm(10%)	弱/中	31	+++	
X-7	Baishitou	Bck	22-47	7.5YR6/3.5	SCL	未～風化亜角～角礫Ø1-7cm(10%)	亜角塊状構造 弱度Ø5-10mm	弱/弱	32	+++	
		Ck	47-80	7.5YR6/3	LS	未～風化亜角～角礫Ø0.5-5cm(30%)	亜角塊状構造 弱度Ø5-10mm	弱なし	27	+++	
		R	80-	-	-	-	-	-	-	+++	
		地表面の露岩: 角～亜円礫Ø<25cm(2%)									
		A	0-5	2.5YR5/3	2.5Y4/3	SIL	亜角塊状構造 弱度Ø5-30mm	弱/中	7	-	
X-8	Baishitou	AB	5-17	10YR5/3	2.5Y4/3	SCL	亜角塊状構造 弱度Ø5-20mm	弱/中	25	-	
		Bk	17-40	10YR5/3.5	2.5Y4/4	SCL	未～半風化亜角～亜円礫Ø5mm(2%)	弱/中	29	+++	
		Bck	40-75	10YR6/3	SIL	未～半風化亜角～亜円礫Ø5mm(1%)	壁状構造	弱/中	27	+++	
		Ck	75-100+	2.5Y6/2	SIL	なし	壁状構造	弱/中	28	+++	

本結果は原田(2010)から引用。

\* -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質



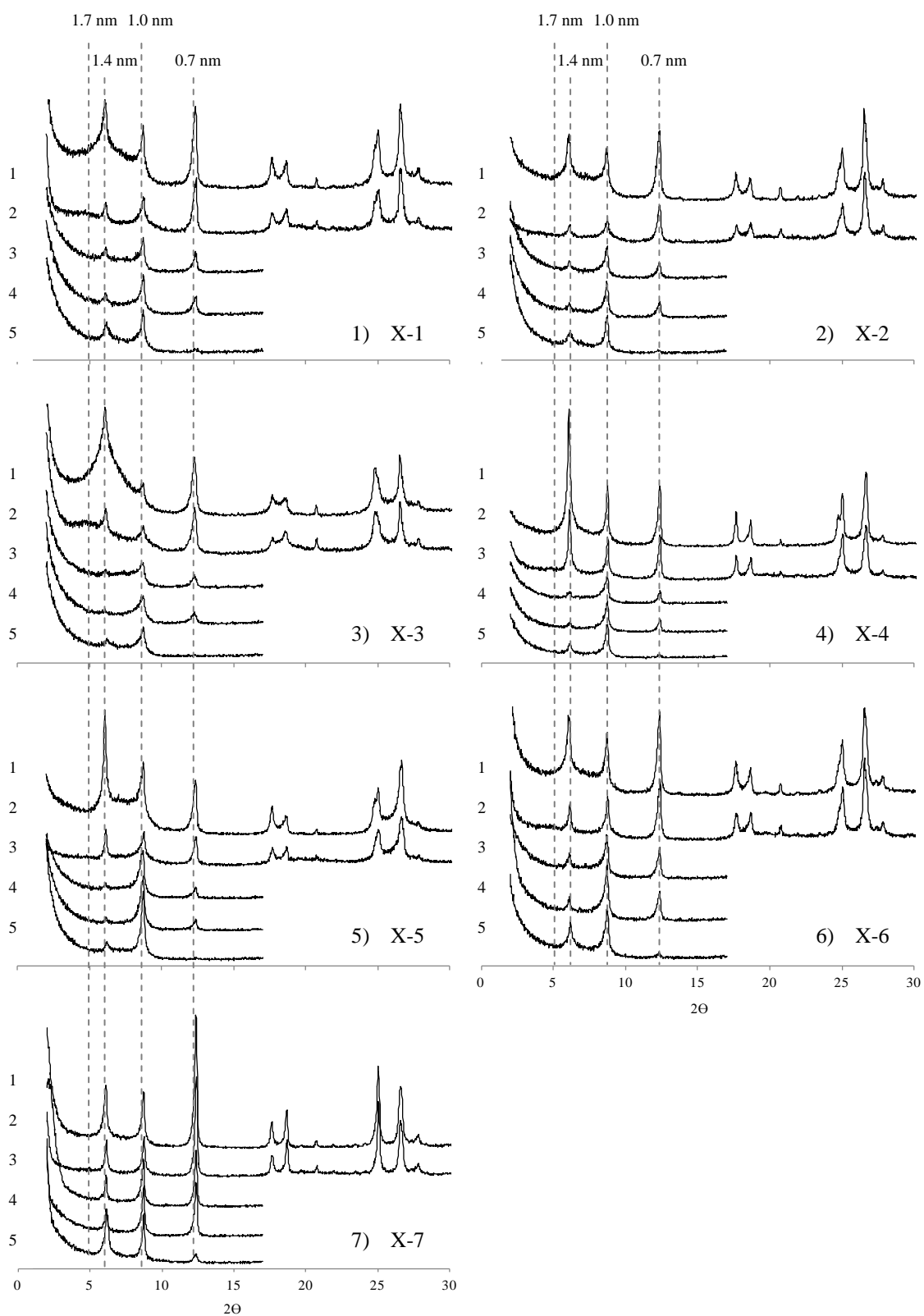


図 4-3-2 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和    2: Mg 飽和グリセロール処理  
 3: K 飽和    4: K 飽和 300℃処理    5: K 飽和 500℃処理

表 4-3-3 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$

調査地点*	気候区分**	乾燥度指数		回収率		粒径画分中の有機炭素量および全窒素量				表層土壌中の各粒径画分の有機炭素と全窒素量の割合			
		乾度指数		Weight		有機炭素量				有機炭素量			
		(AD)	(%)	OC	TN	Clay	Silt	Sand	(g/kg soil)	Clay	Silt	Sand	(% in soil OC and TN)
X(G)-1		0.25	95.5	98.5	96.4	4.16	3.16	0.75	0.50	0.07	50.8	38.6	9.1
X(G)-2	SA-D	0.27	99.6	97.9	95.0	7.58	7.21	1.58	0.76	0.16	45.4	43.1	9.4
X(E)-3		0.28	96.5	89.1	92.0	8.87	7.21	1.74	1.13	0.12	44.4	36.0	8.7
X(A)-4		0.22	94.4	96.7	94.6	4.21	4.51	1.64	0.49	0.20	39.3	42.1	15.3
X(E)-5		0.22	99.8	108.3	101.8	3.71	3.57	1.22	0.46	0.08	47.2	45.5	15.5
X(G)-6	SA-ED	0.20	97.2	92.0	103.5	2.32	1.92	0.74	0.37	0.08	42.9	35.5	13.6
X(E)-7		0.20	99.1	88.3	92.7	7.02	6.40	1.15	0.92	0.12	42.5	38.8	7.0
* ()内は土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, E: Grazing exclosure.													
** SA-D: Semi-arid region (dry), SA-ED: Semi-arid region (Extremely dry)													

調査地点*	C/N			$\delta^{13}\text{C}$			$\delta^{15}\text{N}$		
	Clay	Silt	Sand	Bulk	Clay	Silt	Sand	Bulk	Silt
X(G)-1	8.3	7.8	10.6	-23.8	-23.2	-24.7	-26.3	5.44	6.72
X(G)-2	8.0	9.4	9.8	-23.2	-23.0	-23.9	-23.0	6.81	8.24
X(E)-3	7.9	9.7	14.5	-25.3	-24.7	-26.2	-26.6	3.82	4.88
X(A)-4	8.6	9.2	8.2	-24.2	-24.0	-25.1	-23.7	4.82	6.12
X(E)-5	8.1	10.8	14.6	-22.1	-22.0	-22.6	-22.4	5.82	7.23
X(G)-6	6.3	6.8	8.7	-23.0	-23.7	-23.5	-22.6	8.04	8.90
X(E)-7	7.6	9.2	9.8	-23.7	-23.3	-24.1	-24.8	5.68	7.20
* ()内は土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, E: Grazing exclosure.									

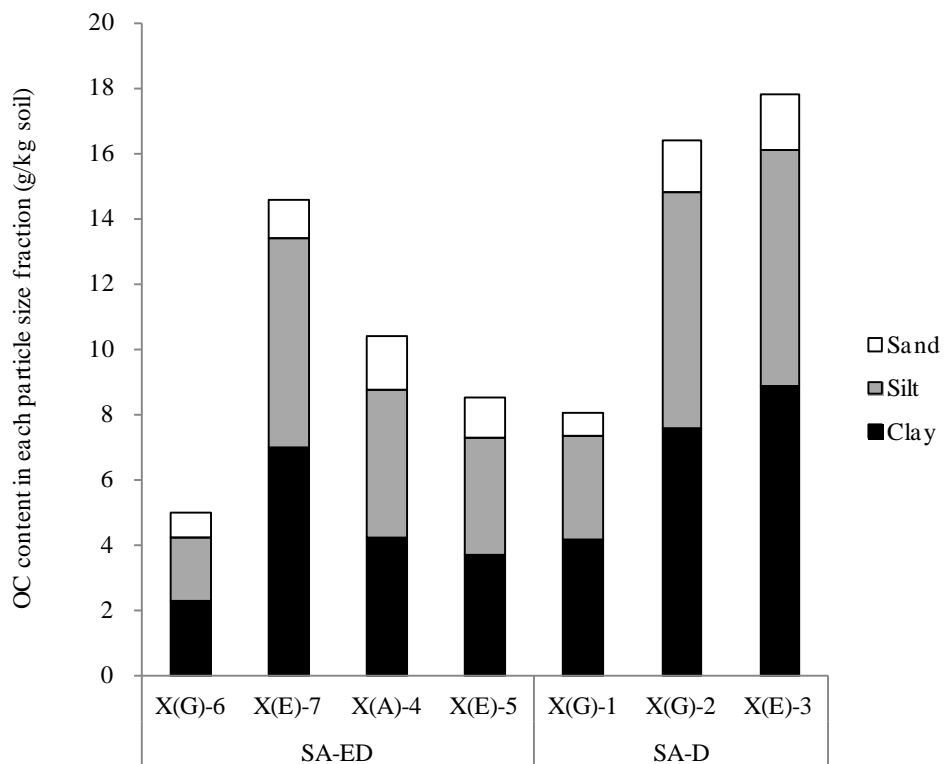


図 4-3-3 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量  
[0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, E: Grazing enclosure]

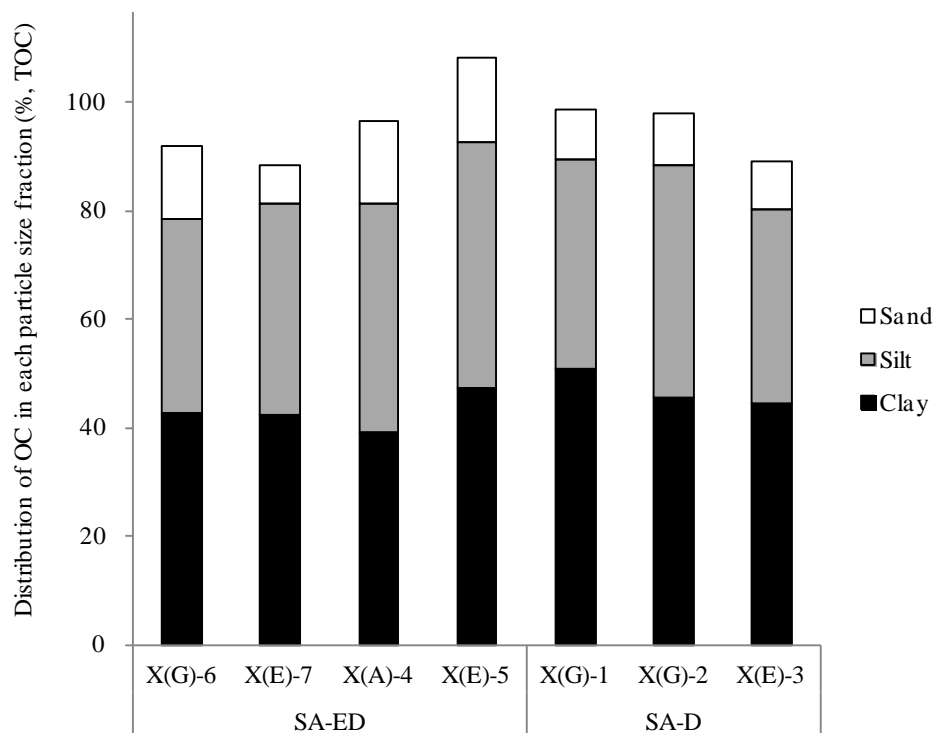


図 4-3-4 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合[0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, E: Grazing enclosure]

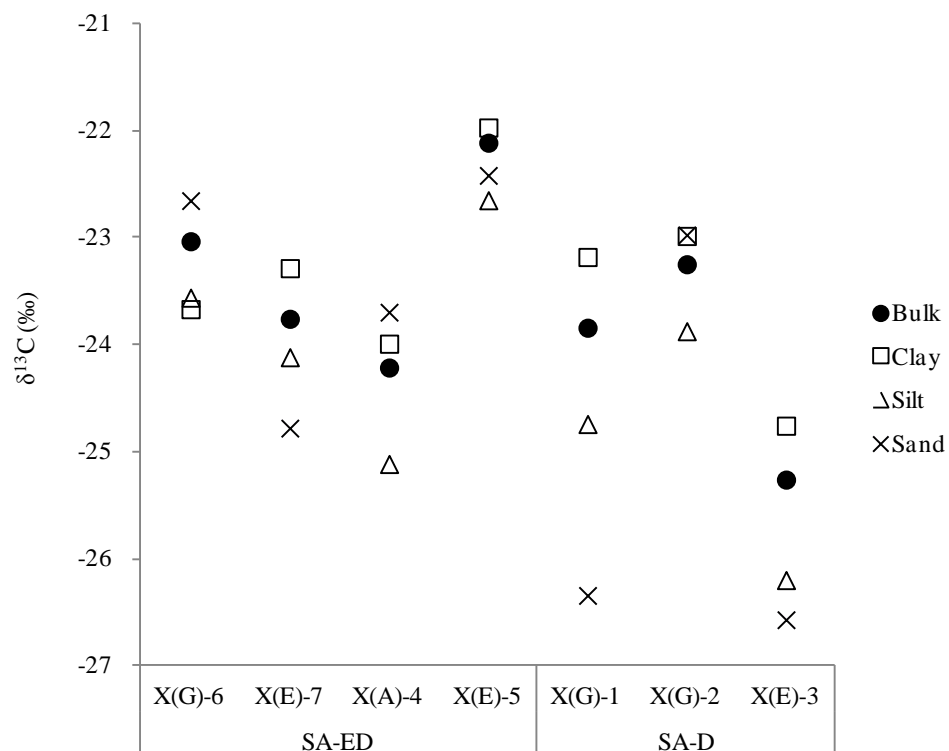


図 4-3-5 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{13}\text{C}$  [0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, E: Grazing enclosure]

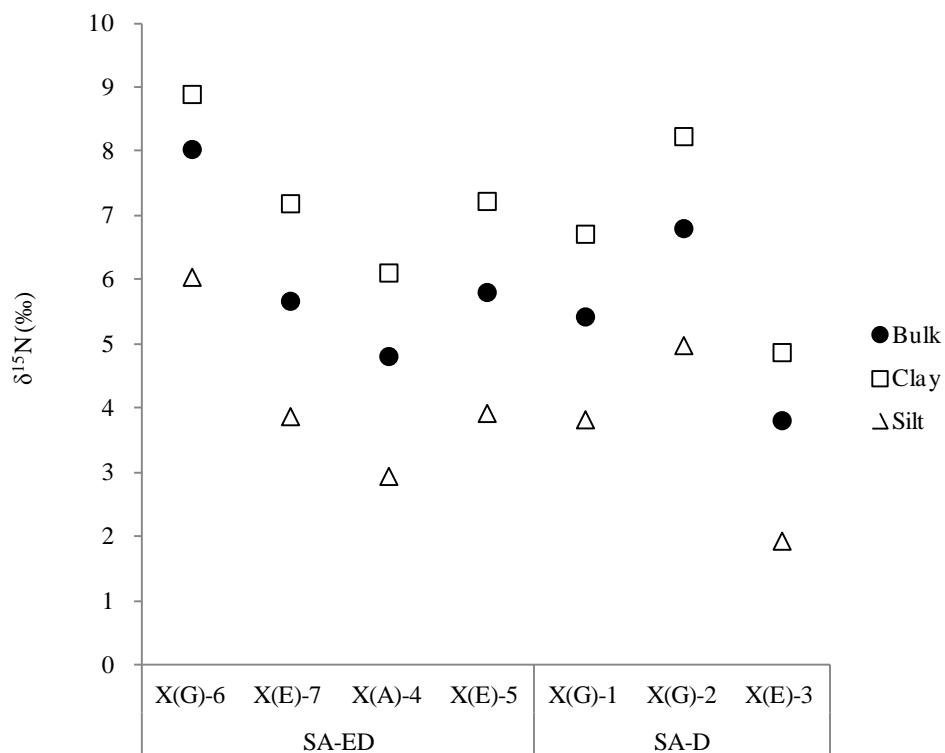


図 4-3-6 中国新疆ウイグル自治区表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{15}\text{N}$  [0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, A: Abandoned field, E: Grazing enclosure]

#### 4-4. モンゴルにおける土壌断面形態および表層土壌の諸性質

##### 4-4-1. 土壌断面形態

各地点の土壌断面写真および景観を図 4-4-1 に示した。また、土壌断面調査の結果を表 4-4-1 に示した。以下、土壌断面調査の結果について記述する。本結果の一部(地点 M-1 および M-2) は Tamura and Asano (2006) から引用した。

##### (1) Shandiin-Hooloi (地点 M-1)

調査年月日: 2005 年 7 月 6 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ・夜雨)

調査者: 田村憲司・浅野眞希・Batjargal

調査地点: Shandiin-Hooloi, Khentii Province, Mongolia

緯度経度: N47°31'40.9" E110°56'42.1"

地質母岩: レス、河床堆積物

堆積様式: 風成、水積

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地底部平坦面

標高: 1041 m

傾斜: なし

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: <1%

人為: 放牧

主な植生: *Cleistogenes squarrosa*, *Stipa krylovii*, *Medicago falcata*, *Pulsatilla bungeana*,  
*Arctogeron gramineum*

引用: Tamura and Asano (2006) の SDH

##### 断面形態

Oi (0-0.5 cm)

A1 (0-9 cm): 7.5YR3/2(湿)-5YR2/3(半湿)、L、礫なし、団粒状構造発達中度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 13、孔隙-、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界平坦判然

A2 (9-24 cm): 7.5YR3/3(湿)-5YR2/4(半湿)、SL、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 5-15 mm(15%)、団粒状構造発達中度  $\phi$ 1-3 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 16、孔隙-、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界波状判然

A3 (24-40 cm): 7.5YR3/3(半湿)、SL、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 5-15 mm(5%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 17、細管状孔隙含むおよび小泡状孔隙富む、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界不規則漸変

Bw (40-54 cm): 7.5YR3.5/4(半湿)、S、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 5-15 mm(25%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-10 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 16、細管状孔隙含むおよび小泡状孔隙含む、細根富むおよび小根あり、非石灰質、層界不規則明瞭

2Bk1 (54-80 cm): 7.5YR6/3(乾)、SL、礫土(未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 5-50 mm)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 30、細管状孔隙富む、細小根まれにあり、強石灰質、層界不規則判然

2Bk2 (80-100+ cm): 5YR5/6(乾)、S、礫土(未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 5-50 mm)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 24、孔隙-、根なし、弱石灰質

<その他: 礫岩質多様、崩積・水積・氷河成。2Bk1,2 層で礫下部に  $\text{CaCO}_3$  付着。>

##### (2) Tumentsogt (地点 M-2)

調査日: 2005 年 7 月 5 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 浅野眞希・田村憲司・Batjargal

調査地点: Tumentsogt, Sukhbaatar Province, Mongolia  
緯度経度: N47°40'28.0" E112°24'29.0"  
地質母岩: レス  
堆積様式: 風成  
気候: ステップ気候  
地形: 丘陵地平坦面  
標高: 924 m  
傾斜: なし  
侵食: なし  
排水性: 良好  
地表の露岩: なし[半風化亜角礫  $\phi 2-5$  mm(10%)]  
人為: 放牧  
優占種: *Stipa grandis*, *Stipa sibirica*, *Cleistogenes squarrosa*, *Artemisia frigida*, *Leymus chinensis*, *Agropyron cristatum*  
引用: Tamura and Asano (2006)の TMG

#### 断面形態

Oi (0-+0.5 cm)

A1 (0-9 cm): 7.5YR3/2(湿)-7.5YR3/3(乾)、SiL、半風化亜角礫  $\phi 2-5$  mm(2%)、団粒状構造発達中  
度  $\phi 1-7$  mm、粘着性なし、可塑性弱、ち密度 12、孔隙-、細小根富む、非石灰質、  
層界平坦判然

A2 (9-21 cm): 7.5YR3/3(湿)-7.5YR3/4(乾)、SiCL、半風化亜角礫  $\phi 2-5$  mm(3%)および  $\phi 20-50$   
mm(2%)、団粒状構造発達弱度  $\phi 1-5$  mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 16、孔隙-、  
細小根富む、非石灰質、層界波状明瞭

ABk (21-37 cm): 7.5YR4/6(乾)、HC、半風化亜角礫  $\phi 2-5$  mm(2%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5-10$   
mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 28、細小泡状孔隙あり、細根含むおよび小根  
あり、強石灰質、層界波状判然

Bk1 (37-70 cm): 7.5YR7/2(乾)、HC、半風化亜角礫  $\phi 2-5$  mm(2%)、壁状構造、粘着性弱、可塑  
性中、ち密度 32、小中管状孔隙あり、細根まれにあり、極強石灰質、層界不規則  
判然

Bk2 (70-82 cm): 7.5YR6/3(乾)、LiC、半風化亜角礫  $\phi 2-5$  mm(2%)、壁状構造、粘着性弱、可塑  
性中、ち密度 33、小管状含む、根なし、極強石灰質、層界不規則明瞭

2Bk3 (82-100+ cm): 7.5YR5/6(乾)、SC、半風化亜角礫  $\phi 2-10$  mm(5%)、壁状構造、粘着性弱、  
可塑性弱、ち密度 32、小管状含む、細根まれにあり、強石灰質

<その他: 断面右に 7~8 年前のネズミの穴あり。>

#### (3) Arvantal (地点 M-3)

調査年月日: 2008 年 7 月 5 日

天候: 晴れ一時雨(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志

調査地点: Arvantal, Uvurkhangai Province, Mongolia

緯度経度: N46°08'21.1" E102°41'18.6"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 平坦地

標高: 1773 m

傾斜: N60°W, <1°

侵食: 軽度

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角礫  $\phi 2-35$  mm(3%)



人為: 放牧

優占種: *Carex korshinskyi*, *Artemisia adamsii*, *Stipa krylovii*

#### 断面形態

A1 (0-7 cm): 10YR3/4(湿)-5YR4/3(乾)、SiL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-50 mm(<5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <20 mm および団粒状構造発達弱度、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 14、孔隙、細小根含むおよび中根まれにあり、非石灰質、層界波状判然

A2 (7-36 cm): 7.5YR3/4(湿)-5YR4/4(乾)、SiL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-20 mm(<5%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-40 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 21、細管状孔隙含むおよび小管状孔隙あり、細根含むおよび小根まれにあり、非石灰質、層界波状漸変

AB1 (36-55 cm): 7.5YR4/4(乾)、SiL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-35 mm(<5%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-60 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 23、細管状孔隙含むおよび小管状孔隙あり、細根あり、非石灰質、層界波状判然

AB2 (55-70 cm): 10YR4/4(乾)、SiL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-30 mm(5%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 10-65 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 28、細管状孔隙含むおよび小管状孔隙あり、細根あり、非石灰質、層界波状判然

2Bk1 (70-82 cm): 10YR6/3(乾)、L、未風化亜角礫  $\phi$ 2-30 mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-45 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 28、細管状孔隙含むおよび小管状孔隙あり、細根あり、極強石灰質(75cm より上部は中石灰質)、層界不規則明瞭

2Bk2 (82-100+ cm): 10YR6/3(乾)、SL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-55 mm(20-50%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-15 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 26、孔隙、細根まれにあり、極強石灰質

<その他: 2Bk2 層礫に  $\text{CaCO}_3$  固結>

#### (4) Duutyntal (地点 M-4)

調査年月日: 2008 年 7 月 17 日

天候: 曇り (調査前: 晴れのち雨)

調査者: 田村憲司・神田隆志

調査地点: Duutyntal, Uvurkhangai Province, Mongolia

緯度経度: N46°45'28.0" E102°59'16.3"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 山地斜面中部

標高: 1848 m

傾斜: N4°W, 6°

侵食: シート侵食軽度

排水性: 良好

地表の露岩:  $\phi$ <12 cm (2%)

人為: 放牧

優占種: *Stipa krylovii*, *Leymus chinensis*, *Allium prostratum*,  
*Artemisia tanacetifolia*, *Koeleria cristata*

#### 断面形態

A1 (0-7 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/2(半湿)、SiC、未風化亜角～角礫  $\phi$ 5-30 mm(2%)(ホルンフェルス)、団粒状構造発達中度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 16、孔隙、細小根含むおよび中根まれにあり、非石灰質、層界平坦明瞭

A2 (7-25 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/2(半湿)、SiC、未風化亜角～角礫  $\phi$ 10-60 mm(3%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-40 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 25、細管状孔隙ありおよび小泡状孔隙あり、細根含む・小根あり・中根まれにあり、非石灰質、層界平坦判然

A3 (25-40 cm): 10YR3/3(半乾)、SiC、未風化亜角～角礫  $\phi 5-30$  mm(1%)、亜角塊状構造発達中  
度  $\phi 10-30$  mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 21、細管状孔隙ありおよび小泡状孔  
隙あり、細小根あり、非石灰質、層界不規則明瞭

Bw (40-55 cm): 10YR4/3(半乾)、SiC、礫土( $\phi 10-60$  mm)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5-10$  mm、  
粘着性弱、可塑性中、ち密度-、孔隙-、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界  
不規則明瞭

Bk1 (55-75 cm): 10YR5/4(乾)、SiC、礫土( $\phi 10-200$  mm)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5-10$  mm、粘  
着性弱、可塑性中、ち密度 22、細管状孔隙ありおよび小泡状孔隙あり、細根あり、  
強石灰質、層界平坦明瞭

Bk2 (75-100+ cm): 10YR8/3,8/3.5(乾)、SiC、礫土( $\phi 10-200$  mm)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5-10$   
mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度-、細管状孔隙あり、細根まれにあり、極強石  
灰質

<その他: Bk1,2 層礫の下部に  $\text{CaCO}_3$  集積>

#### (5) Harnudengyntal (地点M-5)

調査年月日: 2008年7月18日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・田村憲司

調査地点: Harnudengyntal, Uvurkhangai Province, Mongolia

緯度経度: N45°51'44.8" E102°10'35.4"

地質母岩: 緑泥岩類(変成岩)、レス

堆積様式: 風成/残積成

気候: ステップ気候

地形: 平坦地

標高: 1883 m

傾斜: なし

侵食: シート侵食軽度

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角礫  $\phi 1-5$  cm(2%)

人為: 放牧

優占種: *Stipa krylovii*, *Caragana pygmaea*, *Allium tenuissimum*, *Artemisia frigida*,  
*Chenopodium acuminatum*, *Iris bungei*

#### 断面形態

A1 (0-5 cm): 10YR4/4(湿)-10YR4/4(乾)、L、泥岩質未風化亜角礫  $\phi 5-15$  mm(3%)、亜角塊状構造  
発達弱度  $\phi 1-30$  mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 8、細小管状孔隙富む、細根あ  
り、非石灰質、層界波状判然

A2 (5-13 cm): 7.5YR4/4(湿)-7.5YR4/4(半乾)、SiL、泥岩質未風化亜角礫  $\phi 5-15$  mm(3%)、亜角塊  
状構造発達弱度  $\phi 5-50$  mm および団粒状構造発達弱度  $\phi 1-2$  mm、粘着性弱、可塑  
性弱、ち密度 19、細小管状孔隙富む、細小根含むおよび中根あり、非石灰質、層  
界平坦判然

A3k (13-30 cm): 7.5YR4/4(湿)-7.5YR4/6(半乾)、SiL、泥岩質未風化亜角礫  $\phi 5-40$  mm(7%)、亜  
角塊状構造発達弱度  $\phi 5-40$  mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 22、細管状孔隙富  
む、細小根ありおよび中大根まれにあり、強石灰質、層界波状判然

ABk (30-43 cm): 10YR4/4(半乾)、L、泥岩質未風化亜角礫  $\phi 5-50$  mm(5%)、亜角塊状構造発達弱  
度  $\phi 5-30$  mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 23、細管状孔隙富む、細小根ありおよ  
び中根まれにあり、極強石灰質、層界平坦判然

Bk1 (43-62 cm): 10YR5/4(乾)、S、泥岩質未風化亜角礫  $\phi 5-120$  mm(40%)、無構造、粘着性なし、  
可塑性なし、ち密度 16、孔隙-、細小根ありおよび中根まれにあり、極強石灰質、  
層界不規則明瞭

Bk2 (62-84 cm): 10YR8/1(乾)、SL、礫土、壁状構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度31、孔隙-、細小中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bck (84-100+ cm): 10YR6/4(乾)、S、半風化～風化亜角礫 $\phi$ 5-20 mm(5%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度20、孔隙-、細小中根まれにあり、極強石灰質

<その他: A1層は再堆積物の可能性。Bk2層礫の下にCaCO<sub>3</sub>付着。>

#### (6) Altanuul (地点M-6)

調査年月日: 2008年7月12日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志

調査地点: Altanuul, Bayankhongor Province, Mongolia

緯度経度: N46°03'58.0" E100°27'43.3"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地斜面中部

標高: 1914 m

傾斜: S8°W, 4°

侵食: シート侵食軽度

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角礫 $\phi$ 1.5-10.5 cm(7%)

人為: 放牧

優占種: *Allium polyrhizum*, *Stipa glareosa*, *Artemisia adamsii*, *Caragana pygmaea*,  
*Stipa krylovii*

#### 断面形態

A1 (0-5 cm): 7.5YR4/3(湿)-7.5YR4/4(乾)、SL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-50 mm(5%)、亜角塊状構造発達中  $\phi$ 10-30 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密 20、孔隙-、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状判然

A2 (5-14 cm): 7.5YR4/3.5(湿)-7.5YR4/4(乾)、L、未風化亜角礫  $\phi$ 2-100 mm(3%)、亜角塊状構造発達中  $\phi$ 10-80 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根ありおよび小根まれにあり、非石灰質、層界波状判然

A3k (14-36 cm): 7.5YR4/4(湿)-10YR4/6(乾)、L、未風化および腐朽亜角礫  $\phi$ 2-85 mm(5%)、亜角塊状構造発達中  $\phi$ 10-45 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 24、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根ありおよび小根まれにあり、強石灰質、層界不規則判然

ABk (36-54 cm): 10YR6/4(乾)、L、未風化亜角礫 $\phi$ 2-50 mm(1%)、亜角塊状構造発達中  $\phi$ 10-80 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度29、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根まれにあり、極強石灰質、層界不連続明瞭

Bk1 (54-78 cm): 10YR6/4(乾)、SL、風化亜角礫 $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度32、孔隙-、細根まれにあり、極強石灰質、層界平坦明瞭

Bk2 (78-100+ cm): 10YR8/3,8/6(乾)、CL、風化亜角礫 $\phi$ 2-50 mm(5%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度32、孔隙-、細根まれにあり、中石灰質

<その他: 地表面 2 cm に再堆積あり。>

#### (7) Bayan-Ovoo (地点M-7)

調査年月日: 2008年7月21日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・田村憲司

調査地点: Bayan-Ovoo, Bayankhongor Province, Mongolia

緯度経度: N46°24'01.7" E100°18'13.9"

地質母岩: レス、緑泥岩

堆積様式: 風成/残積成

気候: ステップ気候

地形: 山地緩斜面中部

標高: 2114 m

傾斜: S60°W, 5°

侵食: シート侵食軽度

排水性: 良好

地表の露岩:  $\phi < 15$  cm(3%)

人為: 放牧

優占種: *Stipa krylovii*, *Agropyron cristatum*, *Arenaria capillaries*, *Artemisia frigida*,  
*Astragalus miniatus*, *Bupleurum pusillum*

#### 断面形態

A 1(0-3 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、SL、半風化亜角礫  $\phi 15$  mm(3%)(緑泥岩)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5$ -10 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 7、孔隙、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状判然

A2 (3-8 cm): 10YR4/4(湿)-10YR4/4(乾)、L、半風化亜角礫  $\phi 15$  mm(3%)(緑泥岩)、亜角塊状構造発達中度  $\phi 5$ -20 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 28、細管状孔隙富む、細根含むおよび小根含む、非石灰質、層界波状判然

A3k (8-18 cm): 10YR4/4(湿)-10YR4/4(乾)、L、半風化亜角礫  $\phi 5$ -200 mm(25%)(緑泥岩)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5$ -25 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 28、細管状孔隙富む、細小根含むおよび大根まれにあり、中石灰質、層界平坦漸変

ABk (18-26 cm): 10YR3/4(湿)-10YR5/3(乾)、L、半風化亜角礫  $\phi 5$ -200 mm(25%)(緑泥岩)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5$ -20 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 27、細管状孔隙富む、細小根まれにあり、強石灰質、層界不規則明瞭

Bk (26-49 cm): 10YR8/2(乾)、SiL、半風化亜角礫  $\phi 5$ -200 mm(30%)(緑泥岩)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5$ -30 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細管状孔隙富む、中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

R (49-65+ cm): 極強石灰質

#### (8) Galuut (地点M-8)

調査年月日: 2008年7月8日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志

調査地点: Galuut, Govi-Altai Province, Mongolia

緯度経度: N46°23'46.3" E96°23'31.6"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地極緩斜面中部

標高: 2086 m

傾斜: N64°E, 1°

侵食: シート侵食軽度

排水性: 良好

地表の露岩:  $\phi 0.5$ -20 cm(20%)

人為: 放牧

優占種: *Stipa krylovii*, *Scorzonera austriaca*, *Caragana pygmaea*, *Astragalus galactites*

断面形態

Ak (0-7 cm): 10YR4/3(湿)-10YR5/3(乾)、SiL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-100 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <20 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 15、細管状孔隙あり、細根含むおよび小根あり、中石灰質、層界波状判然

ABk (7-25 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/3(乾)、SiCL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-100 mm(10%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <40 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 29、孔隙-、細根含む、強石灰質、層界波状明瞭

Bk (25-48 cm): 10YR6/3(乾)、CL、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 2-200 mm(20%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <25 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 29、孔隙-、細根あり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bck1 (48-65 cm): 10YR6/3(半乾)、SL、未風化～半風化亜角礫 $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度22、孔隙-、細根ありおよび中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則漸変

Bck2 (65-82 cm): 10YR6/4(半乾)、SL、未風化～半風化亜角礫 $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ <15 mm、粘着性なし、可塑性なし、ち密度25、孔隙-、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状漸変

Bck3 (82-100+ cm): 2.5YR6/4(半湿)、SL、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <10 mm、粘着性なし、可塑性弱、ち密度 21、孔隙-、細根まれにあり、強石灰質

<その他: 地表面に再堆積あり。46-56 cm にネズミの穴あり。>

(9) Jargalantyndavaa (地点M-9)

調査年月日: 2008年7月9日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ-夜少し雨)

調査者: 神田隆志

調査地点: Jargalantyndavaa, Govi-Altai Province, Mongolia

緯度経度: N46°16'34.5" E96°21'24.2"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 平坦面

標高: 2300 m

傾斜: なし

侵食: シート侵食中度

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角礫 $\phi$ 0.5-5 cm(25%)

人為: 放牧

優占種: *Stipa krylovii*, *Pedicularis flava*, *Festuca ovina*, *Bupleurum pusillum*,  
*Scorzonera austriaca*

断面形態

Ak (0-5 cm): 10YR4/3(湿)-10YR5/3(乾)、SiCL、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 2-50 mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <50 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細根含むおよび小中根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然

ABk (5-35 cm): 10YR4/3(湿)-10YR5/4(半乾)、SiCL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-200 mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ <40 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 27、細管状孔隙富む、細根ありおよび小中根まれにあり、極強石灰質、層界波状明瞭

Bck1 (35-65 cm): 10YR6/3(半乾)、S、半風化亜角礫 $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度-、孔隙-、細根ありおよび中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則漸変

Bck2 (65-80 cm): 10YR6/3(半乾)、S、半風化亜角礫 $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度-、孔隙-、細根あり、極強石灰質、層界波状漸変  
Bck3 (80-100+ cm): 10YR6/3(半湿)、S、半風化亜角礫  $\phi$ 2-100 mm(20-50%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度-、孔隙-、細根あり、極強石灰質  
<その他: 地表面に再堆積あり。中石灰質>

(10) Dunt Termes (地点M-10)

調査年月日: 2010年7月5日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志

調査地点: Dunt Termes, Uvs Province, Mongolia

緯度経度: N50°36'35.6" E91°52'39.6"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 平坦面

標高: 1401 m

傾斜: なし

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩:  $\phi$ 0.5-5 cm(2%)

人為: 放牧

優占種: *Koeleria cristata*, *Potentilla acaulis*, *Convolvulus ammani*

断面形態

Oi (0-+1 cm)

A1 (0-9 cm): 7.5YR3/3(湿)-7.5YR4/3(乾)、SL、未風化亜角礫  $\phi$ 3-5 mm(1%)、亜角塊状構造発達  
中度  $\phi$ 10-50 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 15、細管状孔隙あり、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状判然

A2 (9-20 cm): 7.5YR3/3(湿)-7.5YR4/3(乾)、SL、未風化亜角礫  $\phi$ 5-25 mm(2%)、亜角塊状構造発達  
弱度  $\phi$ 10-40 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 22、細小管状孔隙あり、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界不規則判然

AB (20-40 cm): 7.5YR4/3(乾)、SL、未風化亜角礫 $\phi$ 6-30 mm(3%)、亜角塊状構造発達  
中度 $\phi$ 10-60 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度29、細管状孔隙含むおよび小管状孔隙あり、細根あり、非石灰質、層界波状明瞭

Bk1 (40-64 cm): 7.5YR7/3(乾)、CL、未風化亜角礫 $\phi$ 6-70 mm(2%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度30、孔隙-、細根ありおよび小根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bk2 (64-85 cm): 7.5YR7/2,5/4(乾)、SL、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 10-40 mm(2%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 28、孔隙-、細中根まれにあり、極強石灰質、層界不連続明瞭

2Bk (85-100+ cm): 7.5YR6/3(乾)、SL、未風化亜角礫  $\phi$ 10-80 mm(15%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 32、孔隙-、細根まれにあり、極強石灰質

(11) Suujin Ekh (地点M-11)

調査年月日: 2010年7月7日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ一時雨)

調査者: 神田隆志

調査地点: Suujin Ekh, Uvs Province, Mongolia

緯度経度: N49°38'12.5" E92°19'49.6"

地質母岩: -  
堆積様式: -  
気候: ステップ気候  
地形: 丘陵地斜面中部  
標高: 1574 m  
傾斜: S84°E, 3°  
侵食: 軽度  
排水性: 良好  
地表の露岩: 亜角礫 $\phi$ <16 cm(10%)  
人為: 放牧  
優占種: *Stipa krylovii*, *Stipa gobica*, *Heteropappus altaicus*, *Artemisia frigida*

#### 断面形態

A (0-7 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、L、未風化亜角礫  $\phi$ <15 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 10-40 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 7、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙あり、細小根含む、非石灰質、層界波状判然  
ABk (7-19 cm): 2.5YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、CL、未風化～半風化亜角～亜円礫  $\phi$ 3-40 mm(2%)、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-45 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 26、細管状孔隙富むおよび小管状孔隙含む、細小根含む、極強石灰質、層界波状判然  
Bk (19-52 cm): 2.5Y5/3(湿)-2.5Y6/3(乾)、SiCL、半風化亜角～亜円礫 $\phi$ <3 mm(1%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度29、孔隙-、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状明瞭  
R (52 cm-): 未風化角～亜角礫 $\phi$ <31 cm、極強石灰質

#### (12) Hongo (地点M-12)

調査年月日: 2010年7月12日  
天候: 晴れ(調査前: 晴れ時々曇り)  
調査者: 神田隆志  
調査地点: Hongo, Khovd Province, Mongolia  
緯度経度: N48°22'01.1" E91°16'53.0"  
地質母岩: -  
堆積様式: 水積  
気候: ステップ気候  
地形: 平原  
標高: 1483 m  
傾斜: なし  
侵食: 中度  
排水性: 良好  
地表の露岩: 亜角～亜円礫 $\phi$ 1.5-15 cm(30%)  
人為: -  
優占種: *Cleistogenes ssp.*, *Anabasis brevifolia*, *Stipa glareosa*, *Artemisia caespitosa*

#### 断面形態

Ak (0-4 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、L、未風化～風化亜角～亜円礫  $\phi$ 3-20 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 10-25 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 10、細小管状孔隙あり、細小根あり、中石灰質、層界波状判然  
ABk (4-20 cm): 10YR5/4(湿)-10YR5/4(乾)、CL、半風化亜角～亜円礫  $\phi$ 15-30 mm(2%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度 31、細管状孔隙富む、細根ありおよび小根まれにあり、強石灰質、層界不規則判然  
Bk (20-40 cm): 10YR5/4,7/3(乾)、LiC、半風化亜角～亜円礫 $\phi$ 20-30 mm(1%)、壁状構造、粘着

性中、可塑性強、ち密度32、孔隙-、細小根まれにあり、強石灰質、層界波状明瞭  
Bck (40-55 cm): 7.5YR5/4(乾)、CL、半風化～風化亜角～亜円礫 $\phi$ 5-60 mm(10%)、壁状構造、  
粘着性中、可塑性強、ち密度33、孔隙-、細小根まれにあり、弱石灰質、層界不規則明瞭  
2C1 (55-72 cm): 7.5YR5/8(乾)、SL、礫土(風化～腐朽亜円～円礫  $\phi$ <13 cm)、無構造、粘着性弱、  
可塑性弱、ち密度 28、孔隙-、細根ありおよび小根まれにあり、弱石灰質、層界不連続明瞭  
2C2 (72-100+ cm): 7.5YR5/8(半乾)、LS、礫土(風化～腐朽亜円～円礫  $\phi$ <12 cm)、無構造、粘着性弱、可塑性なし、ち密度 32、孔隙-、細根まれにあり、弱石灰質  
<その他: Bck, 2C1, 2 層局所的に HCl により発泡。>

(13) Hovd-Northwest (地点M-13)

調査年月日: 2010年7月13日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志

調査地点: Hovd-Northwest, Khovd Province, Mongolia

緯度経度: N48°07'38.5" E91°32'16.7"

地質母岩: -

堆積様式: -

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地谷部平坦地

標高: 1530 m

傾斜: なし

侵食: 中度

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角～亜円礫 $\phi$ 2.5-13.5 cm(7%)

人為: 放牧

優占種: *Cleistogenes songorica*, *Ajania achilloides*, *Stipa glareosa*, *Stipa gobica*

断面形態

Ak (0-6 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、SL、未風化亜角～亜円礫  $\phi$ 8-40 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-35 mm、粘着性弱、可塑性なし、ち密度 10、細管状孔隙あり、細小根含む、中石灰質、層界波状判然

ABk (6-15 cm): 10YR4/4(湿)-10YR5/4(乾)、L、未風化～半風化亜角礫  $\phi$ 10-50 mm(3%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 29、孔隙-、細小根あり、強石灰質、層界平坦明瞭

Bk1 (15-49 cm): 10YR5/4(湿)-10YR6/3(乾)、SCL、未風化～半風化亜角～亜円礫 $\phi$ 15-90 mm(15%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度32、孔隙-、細根ありおよび小根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然

Bk2 (49-60 cm): 10YR5/4(半乾)、LS、礫土(未風化～半風化亜角～亜円礫 $\phi$ 10-70 mm)、無構造、粘着性弱、可塑性なし、ち密度-、孔隙-、細根まれにあり、強石灰質、層界波状明瞭

Bk3 (60-72 cm): 10YR7/3(半乾)、L、未風化～風化亜角～亜円礫  $\phi$ 15-110 mm(10%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 32、孔隙-、細根まれにあり、極強石灰質、層界不連続明瞭

BC (72-100+ cm): 10YR5/4(半乾)、SL、未風化亜角～亜円礫  $\phi$ 5-75 mm(10%)、無構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 27、孔隙-、細根まれにあり、非石灰質

(14) Hovd village (地点M-14)

調査年月日: 2010年7月15日



天候: 晴れ(調査前: 晴れ)  
調査者: 神田隆志・田村憲司  
調査地点: Hovd village, Khovd Province, Mongolia  
緯度経度: N48°04'47.2" E91°21'35.7"  
地質母岩: 花崗岩  
堆積様式: 匍行成  
気候: ステップ気候  
地形: 山地山腹斜面  
標高: 1870 m  
傾斜: N0°, 4°  
侵食: シート侵食軽度  
排水性: 良好  
地表の露岩: ø0.2-10 cm(20-50%)  
人為: 放牧  
優占種: *Stipa krylovii*, *Koeleria macrantha*, *Agropyron sp.*

#### 断面形態

- A1 (0-5 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4/3(乾)、SCL、未風化亜角礫 ø5-20 mm(2%)(緑泥岩質)、亜角塊状構造発達弱度 ø5-45 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 24、細管状孔隙あり、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状判然
- A2 (5-19 cm): 10YR3/4(湿)-10YR4/4(乾)、SCL、未風化亜角礫 ø5-80 mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度 ø10-30 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 26、細管状孔隙含む、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界不規則判然
- ABk (19-31 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4/3(半乾)、SL、未風化亜角礫 ø5-50 mm(40%)、無構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度25、孔隙-、細根含むおよび小根あり、中石灰質、層界不規則明瞭
- Bk1 (31-46 cm): 10YR5/4(半乾)、SCL、未風化～風化亜角礫 ø5-50 mm(15%)、無構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度28、孔隙-、細小根あり、極強石灰質、層界波状判然
- Bk2 (46-65 cm): 10YR6/2(半乾)、SL、未風化～風化亜角礫 ø5-80 mm(10%)、無構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 19、孔隙-、細根ありおよび小根まれにあり、極強石灰質、層界不規則漸変
- Bk3 (65-85+ cm): 2.5Y6/3(半乾)、SL、未風化～風化亜角礫 ø5-30 mm(10%)、無構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 22、孔隙-、細根ありおよび小中根まれにあり、極石灰質

#### (15) Hovd-Southwest (地点M-15)

調査年月日: 2010年7月17日  
天候: 晴れ(調査前: 晴れ)  
調査者: 田村憲司・神田隆志  
調査地点: Hovd-Southwest, Khovd Province, Mongolia  
緯度経度: N47°53'17.6" E91°28'53.3"  
地質母岩: 河成堆積物  
堆積様式: 河成  
気候: ステップ気候  
地形: 山地扇状地中部平坦面  
標高: 1608 m  
傾斜: N4°E, <1°  
侵食: シート侵食中度  
排水性: 良好  
地表の露岩: ø1-10 cm(80%)  
人為: 放牧

優占種: *Stipa gobica*, *Stipa glareosa*, *Artemisia frigida*

#### 断面形態

- Ak1 (0-8 cm): 10YR4/3(湿)-10YR4/4(乾)、SL、未風化～風化亜角～亜円礫  $\phi$ 2-100 mm(20%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-20 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 14、細管状孔隙含む、細小根含む、強石灰質、層界不規則判然
- Ak2 (8-20 cm): 10YR4/4(湿)-10YR4/4(半乾)、SCL、未風化～風化亜角～亜円礫  $\phi$ 2-100 mm(20%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 23、細管状孔隙あり、細小根含む、極強石灰質、層界不規則明瞭
- Bk1 (20-65 cm): 10YR5/6, 2.5Y7/1(半乾)、S、未風化～腐朽亜角～亜円礫  $\phi$ 2-200 mm(40%)、壁状構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度28、細管状孔隙富む、細根含むおよび小根あり、極強石灰質、層界平坦明瞭
- Bk2 (65-100+ cm): 2.5Y5/4(半乾)、S、未風化～腐朽亜角～亜円礫  $\phi$ 2-70 mm(40%)、無構造、粘着性なし、可塑性なし、ち密度 20、孔隙-、細小根まれにあり、強石灰質、層界不規則漸変

#### 4-4-2. モンゴル土壌断面の理化学性および粘土鉱物組成

各地点の土壌断面層位別試料の理化学性を表 4-4-2 に示した。

pH(H<sub>2</sub>O)は、5.9-9.2 の値を示し、特にモンゴル西部で高い値となった。有機炭素量および全窒素量は、それぞれ、4.95-31.14 (g/kg)、0.70-3.17 (g/kg)の範囲を示し、M-4 で最も高く、M-12 で最も低い値となった。CaCO<sub>3</sub>量は、表層では、M-9 (9.9 %)を除き、全ての地点において、3%以下と低い値であったが、下層では、15%以上の値を示す層位が M-2、M-5、M-7、M-8、M-9、M-10、M-11、M-13 で認められた。粒径組成は、粘土含量は、6.6-22.2 (%)、砂含量は、52.9-88.7 (%)と、粗粒質な地点が多い結果となった。

Fed-o は、2.26-6.46 (g/kg)、Feo および Alo は、それぞれ、0.54-2.14、0.36-1.30 (g/kg)を示した。Fep および Alp は非常に少なく、それぞれ、0.02-0.26、0.06-0.37 (g/kg)であったが、Cap は、0.61-5.92 (g/kg)と、Fep および Alp と比べて多い値を示した。

モンゴル表層土壌の粘土鉱物組成の結果を図 4-4-2 に示した。表層土壌の粘土鉱物組成は、Mg 飽和試料では、全ての地点において、1.4 nm、1.0 nm、0.7 nm に明瞭なピークが認められた。また、Mg 飽和試料のグリセロール処理では、1.4 nm から 1.7 nm へのピーク移行が明確に示されなかったことから、スメクタイトを含んでいないことが確認された。その他に、M-1 と M-2 を除いた地点において、Mg 飽和試料の 1.4 nm のピークが、K 飽和試料においても 1.4 nm に確認でき、また、K 飽和 550℃処理においても残存していることから、クロライトが含まれていることが示された。Mg 飽和試料の 1.0 nm のピークは、K 飽和試料においても確認できることから、イライトの存在が示された。一方、0.7 nm のピークは、K 飽和 550℃処理において、大部分消失することから、カオリン鉱物も含まれていることが示された。

#### 4-4-3. 表層土壌における各粒径画分中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成

モンゴル表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量および全窒素量を表 4-4-3 と図 4-4-3、4-4-4 に、安定同位体組成の結果を表 4-4-4 と図 4-4-5、4-4-6 に示した。

各粒径画分中の有機炭素量は、粘土画分では 2.63-16.29 (g/kg)、35.7-64.1 (%)、シルト画分中では 2.00-11.66 (g/kg)、34.3-50.0 (%)、砂画分中では 0.35-1.25 (g/kg)、2.8-9.6 (%)となり、砂画分で非常に少なく、M-9、M-14、M-15 を除き、全ての地点で、粘土画分>シルト画分>砂画分の順に減少した。

C/N は、粘土画分では 6.9-9.1、シルト画分では 8.4-12.8、砂画分では 5.6-14.5 となり、粘土画分で最も小さくなった。また、多くの地点で粘土画分<シルト画分<砂画分の順に大きい値を示したが、いくつかの地点(M-3, M-5, M-6, M-7, M-10, M-13)において、砂画分中の C/N がシルト画分または粘土画分よりも低い値となった。

$\delta^{13}\text{C}$  は、Bulk 土壌では-20.3～-25.1 (‰)、粘土画分では-20.2～-24.7 (‰)、シルト画分では-21.7～-25.8 (‰)、砂画分では-21.2～-26.0 (‰)を示した。一方、 $\delta^{15}\text{N}$  は、Bulk 土壌では 4.69～11.26、

粘土画分では 5.55～12.50、シルト画分では 2.88～9.33 となった。



Site: M-1  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Kastanozem**



Site: M-2  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Kastanozem**



Site: M-3  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Cambisol**



Site: M-4  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Kastanozem**



Site: M-5  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Calcisol**



Site: M-6  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Cambisol**



図 4-4-1 モンゴルの土壌断面写真および景観写真  
(M-1 および M-2 は Tamura and Asano (2006) から引用)





Site: M-7  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Calcisol**



Site: M-8  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Calcisol**



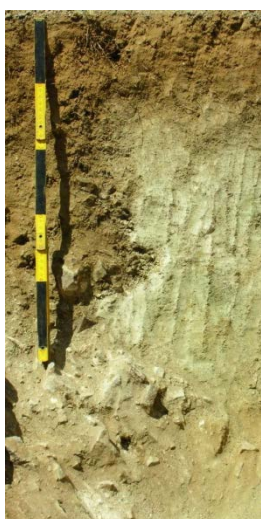
Site: M-9  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Calcisol**



Site: M-10  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Kastanozem**



Site: M-11  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Calcisol**



Site: M-12  
Land-use:  
Grazing grassland  
  
Soil: **Luvisol**



図 4-4-1(続き) モンゴルの土壌断面写真および景観写真



Site: M-13  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Calcisol**



Site: M-14  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Regosol**



Site: M-15  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Regosol**



図 4-4-1(続き) モンゴルの土壌断面写真および景観写真

表 4-4-1 モンゴル土壌の土壌断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (乾)	(通)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HCl反応 <sup>1,2</sup>	その他 (斑紋結核など)
M-1 <sup>1)</sup>	Shandlin hoodi	地表の露岩: <1%										
		Oi	+0.5-0									
		A1	0-9	5YR2/3	7.5YR3/2	L	なし	回粒構造中度Ø1-5mm	弱弱	13	-	
		A2	9-24	5YR2/4	7.5YR3/3	SL	未～半風化亜角礫Ø5-15mm(15%)	回粒構造中度Ø1-3mm	なしなし	16	-	
		A3	24-40	7.5YR3/3		SL	未～半風化亜角礫Ø5-15mm(5%)	亜角塊状構造中度Ø5-30mm	なしなし	17	-	
		Bw	40-54	7.5YR3.5/4	S	未～半風化亜角礫Ø5-15mm(25%)	未～半風化亜角礫Ø5-10mm	亜角塊状構造弱度Ø5-10mm	なしなし	16	-	
		2Bk1	54-80	7.5YR6/3	SL	礫土(未～半風化亜角礫Ø5-50mm)		無構造	なしなし	30	++	礫下部にCaCO <sub>3</sub> 付着
M-2 <sup>1)</sup>	Tumentsogt	2Bk2	80-100+	5YR5/6	S	礫土(未～半風化亜角礫Ø5-50mm)		無構造	なしなし	24	±	礫下部にCaCO <sub>3</sub> 付着
		地表の露岩: なし[半風化亜角礫Ø2-5mm(10%)]										
		Oi	+0.5-0									断面右にネズミの穴
		A1	0-9	7.5YR3/3	7.5YR3/2	SL	半風化亜角礫Ø2-5mm(2%)	回粒構造中度Ø1-7mm	なし弱	12	-	
		A2	9-21	7.5YR3/4	7.5YR3/3	SiCL	半風化亜角礫Ø2-5mm(3%), Ø20-50mm(2%)	回粒構造弱度Ø1-5mm	弱弱	16	-	
		ABk	21-37	7.5YR4/6	HC	半風化亜角礫Ø2-5mm(2%)		亜角塊状構造弱度Ø5-10mm	弱/中	28	++	
		Bk1	37-70	7.5YR7/2	HC	半風化亜角礫Ø2-5mm(2%)		壁状構造	弱/中	32	+++	
M-3	Arvantai	Bk2	70-82	7.5YR6/3	L/C	半風化亜角礫Ø2-5mm(2%)		壁状構造	弱/中	33	+++	
		2Bk3	82-100+	7.5YR5/6	SC	半風化亜角礫Ø2-10mm(5%)		壁状構造	弱弱	32	++	
		地表の露岩: 亜角礫Ø2-35mm(3%)										
		A1	0-7	5YR4/3	10YR3/4	SL	未風化亜角礫Ø2-50mm(<5%)	亜角塊状構造弱度Ø<20mm, 回粒構造弱度	弱弱	14	-	地表面2cm再堆積あり
		A2	7-36	5YR4/4	7.5YR3/4	SL	未風化亜角礫Ø2-20mm(<5%)	亜角塊状構造中度Ø5-40mm	弱弱	21	-	
		AB1	36-55	7.5YR4/4	SL	未風化亜角礫Ø2-35mm(<5%)		亜角塊状構造中度Ø5-60mm	弱弱	23	-	
		AB2	55-70	10YR4/4	SL	未風化亜角礫Ø2-30mm(5%)		亜角塊状構造中度Ø10-65mm	弱弱	28	-	
M-4	Duutynyal	2Bk1	70-82	10YR6/3	L	未風化亜角礫Ø2-30mm(5%)		亜角塊状構造弱度Ø5-45mm	弱弱	28	+++	
		2Bk2	82-100+	10YR6/3	SL	未風化亜角礫Ø2-55mm(20-50%)		亜角塊状構造弱度Ø5-15mm	弱弱	26	+++	礫にCaCO <sub>3</sub> 付着
		地表の露岩: Ø<12cm(2%)										
		A1	0-7	10YR3/2	10YR2/3	SiC	未風化亜角～角礫Ø5-30mm(2%)	回粒構造中度Ø1-5mm	弱/中	16	-	
		A2	7-25	10YR3/2	10YR2/3	SiC	未風化亜角～角礫Ø10-60mm(3%)	亜角塊状構造中度Ø5-40mm	弱/中	25	-	
		A3	25-40	10YR3/3	SiC	未風化亜角～角礫Ø5-30mm(1%)		亜角塊状構造中度Ø10-30mm	弱/中	21	-	
		Bw	40-55	10YR4/3	SiC	礫土(Ø10-60mm)		亜角塊状構造弱度Ø5-10mm	弱/中	-	-	
M-5	Harnudegnyntal	Bk1	55-75	10YR5/4	SiC	礫土(Ø10-200mm)		亜角塊状構造弱度Ø5-10mm	弱/中	22	++	礫下部にCaCO <sub>3</sub> 付着
		Bk2	75-100+	10YR8/3.5	SiC	礫土(Ø10-200mm)		亜角塊状構造弱度Ø5-10mm	弱/中	-	+++	礫下部にCaCO <sub>3</sub> 付着
		地表の露岩: 亜角礫Ø1-5cm(2%)										
		A1	0-5	10YR4/4	10YR4/4	L	未風化亜角礫Ø5-15mm(3%)	亜角塊状構造弱度Ø5-30mm	弱弱	8	-	再堆積物質の可能性あり
		A2	5-13	7.5YR4/4	7.5YR4/4	SiL	未風化亜角礫Ø5-15mm(3%)	亜角塊状構造弱度Ø5-50mm, 回粒構造弱度Ø1-2mm	弱弱	19	-	
		A3k	13-30	7.5YR4/6	7.5YR4/4	SiL	未風化亜角礫Ø5-40mm(7%)	亜角塊状構造弱度Ø5-40mm	弱弱	22	++	
		ABk	30-43	10YR4/4	L	未風化亜角礫Ø5-50mm(5%)		亜角塊状構造弱度Ø5-30mm	弱弱	23	+++	
		Bk1	43-62	10YR5/4	S	未風化亜角礫Ø5-120mm(40%)		無構造	なしなし	16	+++	
		Bk2	62-84	10YR8/1	SL	礫土		壁状構造	なしなし	31	+++	
		Bk3	84-100+	10YR6/4	S	半風化～風化亜角礫Ø5-20mm(5%)		無構造	なしなし	20	+++	

<sup>1)</sup> Tamura and Asano (2006)から引用。<sup>2)</sup> -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質

表 4-4-1 (続き) モンゴル土壌の土壌断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (乾)	(湿)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HCl反応*	その他 (根紋結核など)
M-6	Altanul	地表の露岩: 亜角礫0.5-10.5cm(7%)										地表面2cm厚堆積あり
		A1	0-5	7.5YR4/4	7.5YR4/3	SL	未風化亜角礫0.5-50mm(5%)	亜角塊状構造 中度0.10-30mm	なし/なし	20	-	
		A2	5-14	7.5YR4/4	7.5YR4/3.5	L	未風化亜角礫0.2-100mm(3%)	亜角塊状構造 中度0.10-80mm	弱/弱	30	-	
		A3k	14-36	10YR4/6	7.5YR4/4	L	未風化および腐朽亜角礫0.2-85mm(5%)	亜角塊状構造 中度0.10-45mm	弱/弱	24	++	
		ABk	36-54	10YR6/4		L	未風化亜角礫0.3-50mm(1%)	亜角塊状構造 中度0.10-80mm	弱/弱	29	+++	
		Bk1	54-78	10YR6/4		SL	風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	壁状構造	弱/弱	32	+++	
M-7	Baya-Ovoo	Bk2	78-100+	10YR8/3	8/6	CL	風化亜角礫0.2-50mm(5%)	壁状構造	弱/中	32	+	地表面に再堆積あり
		地表の露岩: 0<15cm(3%)										
		A1	0-3	10YR5/4	10YR4/4	SL	半風化亜角礫0.15mm(3%)	亜角塊状構造 弱度0.5-10mm	なし/なし	7	-	
		A2	3-8	10YR4/4	10YR4/4	L	半風化亜角礫0.15mm(3%)	亜角塊状構造 中度0.5-20mm	弱/弱	28	-	
		A3k	8-18	10YR4/4	10YR4/4	L	半風化亜角礫0.5-200mm(25%)	亜角塊状構造 弱度0.5-25mm	弱/弱	28	+	
		ABk	18-26	10YR5/3	10YR3/4	L	半風化亜角礫0.5-200mm(25%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	弱/弱	27	++	
M-8	Galut	Bk	26-49	10YR8/2		SL	半風化亜角礫0.5-200mm(30%)	亜角塊状構造 弱度0.5-30mm	弱/弱	30	+++	地表面に再堆積あり
		R	49-65+	-	-	-	-	-	-	-	+++	
		地表の露岩: 00.5-20cm(20%)										
		AK	0-7	10YR5/3	10YR4/3	SL	未風化亜角礫0.2-100mm(3%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	弱/弱	15	+	
		ABk	7-25	10YR5/3	10YR4/4	SL	未風化亜角礫0.2-100mm(10%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	弱/中	29	++	
		Bk	25-48	10YR6/3	CL	CL	未〜半風化亜角礫0.2-200mm(20%)	亜角塊状構造 弱度0.5-25mm	弱/中	29	+++	
M-9	Jargalanynyudavaa	Bck1	48-65	10YR6/3	SL	SL	未〜半風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	無構造	なし/なし	22	+++	46-56cmネズミの穴あり
		Bck2	65-82	10YR6/4	SL	SL	未〜半風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	なし/なし	25	+++	
		Bck3	82-100+	2.5YR6/4	SL	SL	未〜半風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	なし/弱	21	++	
		地表の露岩: 亜角礫0.5-5cm(25%)										
		AK	0-5	10YR5/3	10YR4/3	SL	未〜半風化亜角礫0.2-50mm(5%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	弱/弱	30	+++	
		ABk	5-35	10YR5/4	10YR4/3	SL	未風化亜角礫0.2-200mm(5%)	亜角塊状構造 弱度0.5-20mm	弱/中	27	+++	
M-10	Dunt Termes	Bck1	35-65	10YR6/3	S	S	半風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	無構造	なし/なし	-	+++	地表面2cm厚堆積あり(中石灰質)
		Bck2	65-80	10YR6/3	L	L	半風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	無構造	なし/なし	-	+++	
		Bck3	80-100+	10YR6/3	S	S	半風化亜角礫0.2-100mm(20-50%)	無構造	なし/なし	-	+++	
		地表の露岩: 亜角礫0.5-5cm(2%)										
		A1	0-9	7.5YR4/3	7.5YR3/3	SL	未風化亜角礫0.3-5mm(1%)	亜角塊状構造 中度0.10-50mm	弱/弱	15	-	
		A2	9-20	7.5YR4/3	7.5YR3/3	SL	未風化亜角礫0.5-25mm(2%)	亜角塊状構造 弱度0.10-40mm	弱/弱	22	-	
M-10	Dunt Termes	AB	20-40	7.5YR4/3	SL	SL	未風化亜角礫0.6-30mm(3%)	亜角塊状構造 中度0.10-60mm	弱/弱	29	-	地表面に再堆積あり
		Bk1	40-64	7.5YR7/3	CL	CL	未風化亜角礫0.6-70mm(2%)	壁状構造	弱/強	30	+++	
		Bk2	64-85	7.5YR7/2.5/4	SL	SL	未〜半風化亜角礫0.10-40mm(2%)	壁状構造	弱/弱	28	+++	
		2Bk	85-100+	7.5YR6/3	SL	SL	未風化亜角礫0.10-80mm(15%)	壁状構造	弱/弱	32	+++	

\* -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質



表 4-4-1 (続き) モンゴル土壌の土壌断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (乾)	(湿)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HC反応*	その他 (根紋結核など)
M-11	Suijin Ekh	地表の露岩: 亜角礫<16cm(10%)										
		A	0-7	10YR5/4	10YR4/4	L	未風化亜角礫<15mm(3%)	亜角塊状構造弱度010-40mm	弱	7	-	
		ABk	7-19	10YR5/4	2.5YR4/4	CL	未〜半風化亜角〜亜円礫03-40mm(2%)	亜角塊状構造中度05-45mm	弱/中	26	+++	
		Bk	19-52	2.5Y 6/3	2.5Y5/3	SKL	半風化亜角〜亜円礫02-3mm(1%)	壁状構造	弱/中	29	+++	
M-12	Hongo	R	52-	-	-	-	-	-	-	-	-	
		地表の露岩: 亜角〜亜円礫01.5-15cm(30%)										
		Ak	0-4	10YR5/4	10YR4/4	L	未〜風化亜角〜亜円礫03-20mm(3%)	亜角塊状構造弱度010-25mm	弱	10	+	
		ABk	4-20	10YR6/4	10YR5/4	CL	半風化亜角〜亜円礫015-30mm(2%)	壁状構造	弱/中	31	++	
M-13	Hovd (northwest)	Bk	20-40	10YR5/4	10YR5/4	CL	半風化亜角〜亜円礫020-30mm(1%)	壁状構造	中/強	32	++	
		BCk	40-55	7.5YR5/4	CL	CL	半〜風化亜角〜亜円礫05-60mm(10%)	壁状構造	中/強	33	±	局所的にHCの発泡
		2C1	55-72	7.5YR5/8	SL	SL	陳土(風化〜腐朽亜円〜円礫<1.3cm)	無構造	弱	-	±	局所的にHCの発泡
		2C2	72-100+	7.5YR5/8	LS	LS	陳土(風化〜腐朽亜円〜円礫0<12cm)	無構造	弱なし	-	±	局所的にHCの発泡
M-14	Hovd (southwest)	地表の露岩: 亜角〜亜円礫02.5-13.5cm(7%)										
		Ak	0-6	10YR5/4	10YR4/4	SL	未風化亜角〜亜円礫08-40mm(3%)	亜角塊状構造弱度05-35mm	弱なし	10	+	
		ABk	6-15	10YR5/4	10YR4/4	L	未〜半風化亜角礫010-50mm(3%)	壁状構造	弱	29	++	
		Bk1	15-49	10YR6/3	10YR5/4	SCL	未〜半風化亜角〜亜円礫015-90mm(15%)	壁状構造	弱	32	+++	
M-15	Hovd (southwest)	Bk2	49-60	10YR5/4	LS	LS	陳土(未〜半風化亜角〜亜円礫010-70mm)	無構造	弱なし	-	++	
		Bk3	60-72	10YR7/3	L	L	未〜風化亜角〜亜円礫015-110mm(10%)	壁状構造	弱	32	+++	
		BC	72-100+	10YR5/4	SL	SL	未風化亜角〜亜円礫05-75mm(10%)	無構造	弱	27	-	
		地表の露岩: 00.2-10cm(20-50%)										
M-16	Hovd village	A1	0-5	10YR4/3	10YR3/3	SCL	未風化亜角礫05-20mm(2%)	亜角塊状構造弱度05-45mm	弱	24	-	
		A2	5-19	10YR4/4	10YR3/4	SCL	未風化亜角礫05-80mm(5%)	亜角塊状構造弱度010-30mm	弱	26	-	
		ABk	19-31	10YR4/3	10YR3/3	SL	未風化亜角礫05-50mm(40%)	無構造	弱	25	+	
		Bk1	31-46	10YR5/4	SCL	SCL	未〜風化亜角礫05-50mm(15%)	無構造	弱	28	+++	
M-17	Hovd (southwest)	Bk2	46-65	10YR6/2	SL	SL	未〜風化亜角礫05-80mm(10%)	無構造	弱	19	+++	
		Bk3	65-85+	2.5Y 6/3	SL	SL	未〜風化亜角礫05-30mm(10%)	無構造	弱	22	+++	
		地表の露岩: 01-10cm(80%)										
		Ak1	0-8	10YR4/4	10YR4/3	SL	未〜風化亜角〜亜円礫02-100mm(20%)	亜角塊状構造弱度05-20mm	弱	14	++	
M-18	Hovd (southwest)	Ak2	8-20	10YR4/4	10YR4/4	SCL	未〜風化亜角〜亜円礫02-100mm(20%)	亜角塊状構造弱度05-30mm	弱	23	+++	
		Bk1	20-65	10YR5/6	2.5Y7/1	S	未〜腐朽亜角〜亜円礫02-200mm(40%)	壁状構造	なし/なし	28	+++	
		Bk2	65-100+	2.5Y 5/4	S	S	未〜腐朽亜角〜亜円礫02-70mm(40%)	無構造	なし/なし	20	++	
		地表の露岩: 01-10cm(80%)										

\* -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質

表 4-4-2 モンゴル土壤断面の理化学性

No.	層位	深度 (cm)	pH	OC (g/kg)	TN	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Exchangeable base				CEC cmol.kg <sup>-1</sup>	Particle size			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable					
								Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		Clay	Silt	Sand	Fe <sub>d-o</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Ca <sub>p</sub>
			H <sub>2</sub> O							cmol.kg <sup>-1</sup>	%			g/kg							
M-1	A1	0-9	5.9	18.69	1.98	9.4	0.7					16.0	11.8	72.2	4.87	1.29	0.91	0.22	0.35	1.52	
	A2	9-24	6.6	8.02								8.3	4.0	87.7							
	A3	24-40	7.0																		
	Bw	40-54	7.2																		
	2Bk1	54-80	8.9				4.2														
M-2	2Bk2	80-100+	9.2				0.9														
	A1	0-9	7.0	14.44	1.60	9.0	0.8					12.8	5.8	81.4	3.72	0.75	0.78	0.07	0.18	1.75	
	A2	9-21	7.7	12.26								10.4	4.3	85.3							
	ABk	21-37	8.3				27.5														
	Bk1	37-70	8.7				27.1														
M-3	Bk2	70-82	8.9				12.3														
	2Bk3	82-100+	8.8				1.6														
	A1	0-7	7.0	10.33	1.30	8.0	0.6					13.8	10.2	76.0	6.06	1.41	0.68	0.11	0.17	1.18	
	A2	7-36	7.1	7.45			-					12.8	10.5	76.6							
	AB1	36-55	7.7				-														
M-4	AB2	55-70	8.1				-														
	2Bk1	70-82	8.7				5.4														
	2Bk2	82-100+	8.8				7.5														
	A1	0-7	6.4	31.14	3.17	9.8	1.3					22.2	24.9	52.9	6.46	2.14	1.30	0.26	0.37	3.15	
	A2	7-25	7.0	20.88			-					22.4	25.7	52.0							
M-5	A3	25-40	7.2				-														
	Bw	40-55	7.4				-														
	Bk1	55-75	8.4				2.4														
	Bk2	75-100+	9.0				12.2														
	A1	0-5	8.2	8.28	0.92	9.0	0.6					8.9	5.5	85.6	3.15	0.61	0.47	0.03	0.08	1.12	
	A2	5-13	7.4	6.69			-					7.0	8.1	84.8							
	A3k	13-30	8.4	6.31			1.0					12.7	6.8	80.6							
	ABk	30-43	8.5				3.8														
	Bk1	43-62	8.9				4.4														
	Bk2	62-84	9.2				18.1														
	BCk	84-100+	9.3				2.2														

表 4-4-2 (続き) モンゴル土壌断面の理化学性

No.	深度 层位	pH	OC			TN	C/N	CaCO <sub>3</sub>	Exchangeable base				CEC	Particle size			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable					
			H <sub>2</sub> O	OC	(g/kg)				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		Clay	Silt	Sand	Fe <sub>d,o</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Ca <sub>p</sub>
g/kg																						
%																						
cmol.kg <sup>-1</sup>																						
cmol.kg <sup>-1</sup>																						
M-6	A1	0-5	6.8	7.30	0.84	8.7	0.6				10.3	8.3	81.4	5.66	0.69	0.36	0.07	0.11	0.79			
	A2	5-14	7.7	7.09		-					10.2	8.6	81.2									
	A3k	14-36	8.5	6.06			2.6				9.7	12.4	77.9									
	ABk	36-54	8.8				8.6															
	Bk1	54-78	8.6				4.0															
	Bk2	78-100+	9.3				1.8															
M-7	A1	0-3	6.9	9.29	1.03	9.0	0.3				6.6	4.7	88.7	2.26	0.67	0.36	0.05	0.09	0.61			
	A2	3-8	7.2	9.03		-					11.7	6.3	82.0									
	A3k	8-18	7.4	6.70			0.6				6.6	10.7	82.7									
	ABk	18-26	8.3	7.12			1.1				11.7	11.4	76.9									
	Bk	26-49	8.8				18.3															
	R	49-65+	-				-															
M-8	Ak	0-7	8.4	10.18	1.34	7.6	1.9				15.2	9.1	75.7	3.76	0.57	0.64	0.02	0.08	3.70			
	ABk	7-25	8.5	11.66			12.2				13.1	8.8	78.1									
	Bk	25-48	8.7				15.8															
	Bck1	48-65	9.2				6.2															
	Bck2	65-82	9.3				5.5															
	Bck3	82-100+	9.5				8.2															
M-9	Ak	0-5	8.3	19.22	2.44	7.9	9.9				20.7	19.3	60.0	3.91	0.66	0.90	0.02	0.08	2.95			
	ABk	5-35	8.5	13.11			17.8				20.7	17.5	61.7									
	Bck1	35-65	8.7				17.8															
	Bck2	65-80	9.0				17.7															
	Bck3	80-100+	9.2				16.6															
M-10	A1	0-9	6.9	9.22	1.12	8.2	0.4	4.01	0.99	0.02	0.74	7.03	12.4	8.5	79.1	3.78	0.97	0.40	0.14	0.92		
	A2	9-20	7.7	7.82	0.95	8.2	0.6	6.33	1.39	0.03	0.37	7.76	11.1	8.4	80.5							
	AB	20-40	8.2	5.56	0.83	6.7	0.7	7.63	2.02	0.08	0.19	8.78										
	Bk1	40-64	8.9	6.47	0.76	8.5	27.4	93.82	5.72	0.26	0.17	7.24										
	Bk2	64-85	9.3	1.42	0.20	7.1	5.1	58.16	3.66	0.31	0.13	5.06										
	2Bk	85-100+	9.4	0.60	0.09	6.6	6.3	53.49	3.11	0.39	0.17	4.39										

表 4-4-2 (続き) モンゴル土壤断面の理化学性

No.	層位	深度 (cm)	pH			OC (g/kg)	TN	C/N	CaCO <sub>3</sub> (%)	Exchangeable base				CEC cmol.kg <sup>-1</sup>	Particle size %			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable g/kg					
			H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O					Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		Clay	Silt	Sand	Fe <sub>dco</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Ca <sub>p</sub>
M-11	A	0-7	7.8	7.85	0.95	8.2	8.2	0.7	7.63	1.36	0.03	0.62	8.58	13.6	12.2	74.1	4.38	1.12	0.59	0.04	0.12	1.49	
	ABk	7-19	8.5	17.82	2.15	8.3	8.3	18.4	91.58	4.52	0.12	0.11	14.95	25.8	14.5	59.7							
	Bk	19-52	8.9	8.41	0.86	9.7	9.7	17.0	89.65	7.28	0.59	0.06	17.96	28.0	22.3	49.8							
	R	52-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						
M-12	Alk	0-4	9.2	4.95	0.70	7.0	7.0	2.8	20.52	1.18	0.09	0.59	4.86	12.4	10.4	77.2	2.33	0.54	0.54	0.02	0.06	5.92	
	ABk	4-20	9.0	5.77	0.72	8.0	8.0	8.7	79.47	4.49	0.36	0.64	10.36	32.1	11.7	56.2							
	Bk	20-40	8.8	0.47	0.57	0.8	0.8	8.0	86.72	4.07	1.06	0.23	18.40	40.2	18.0	41.8							
	BCk	40-55	8.4	0.34	0.40	0.8	0.8	1.5	21.16	2.24	0.94	0.19	13.12	23.9	19.9	56.1							
M-13	2C1	55-72	6.0	0.52	0.48	1.1	1.3	16.42	1.01	1.12	0.09	9.54	15.6	17.5	66.9								
	2C2	72-100+	8.2	0.11	0.11	1.1	1.1	9.54	0.24	0.55	0.09	3.53	7.8	5.5	86.7								
	Alk	0-6	8.8	6.89	0.88	7.9	7.9	1.1	9.64	0.55	0.02	0.38	6.32	10.0	9.3	80.7	2.68	0.59	0.43	0.02	0.09	2.13	
	ABk	6-15	8.6	10.20	1.26	8.1	8.1	6.4	53.57	1.21	0.04	0.17	8.05	17.5	10.6	71.9							
M-14	Bk1	15-49	8.7	8.22	0.92	8.9	8.9	28.1	92.56	2.92	0.09	0.09	6.20	14.2	8.8	77.1							
	Bk2	49-60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-							
	Bk3	60-72	9.3	2.26	0.23	9.8	9.8	20.4	94.38	4.18	0.19	0.09	3.54										
	BC	72-100+	9.4	1.46	0.18	8.2	8.2	1.4	19.95	4.94	0.23	0.14	6.63										
M-15	A1	0-5	8.2	17.04	1.86	9.2	9.2	1.1	13.00	1.03	0.01	0.61	9.75	12.9	15.8	71.3	4.77	0.76	0.59	0.04	0.10	2.41	
	A2	5-19	8.5	13.87	1.61	8.6	8.6	2.7	29.70	0.68	0.03	0.21	9.90	13.6	20.5	65.9							
	ABk	19-31	8.5	15.46	1.95	7.9	7.9	9.5	69.05	1.11	0.05	0.16	7.79	11.8	18.1	70.1							
	Bk1	31-46	8.8	6.11	0.72	8.5	8.5	9.6	78.17	1.50	0.13	0.25	6.23	16.5	24.3	59.1							
M-15	Bk2	46-65	8.9	4.72	0.53	9.0	9.4	73.97	2.67	0.12	0.19	6.55	14.7	17.8	67.5								
	Bk3	65-85+	9.0	4.46	0.50	8.8	8.8	9.9	77.64	3.52	0.16	0.18	6.64	15.7	21.3	63.0							
	Al1	0-8	8.8	8.94	1.02	8.8	8.8	1.8	16.08	0.59	0.03	0.39	7.03	12.1	12.4	75.5	3.48	0.56	0.53	0.02	0.06	3.83	
	Al2	8-20	8.8	6.74	0.85	8.0	8.0	8.2	64.78	1.30	0.04	0.18	5.93	15.5	11.8	72.7							
M-15	Bk1	20-65	9.1	2.24	0.26	8.6	8.6	6.3	56.61	1.38	0.06	0.09	3.25	8.4	8.2	83.4							
	Bk2	65-100+	9.4	0.64	0.06	10.1	10.1	3.7	20.06	1.26	0.13	0.05	2.17										

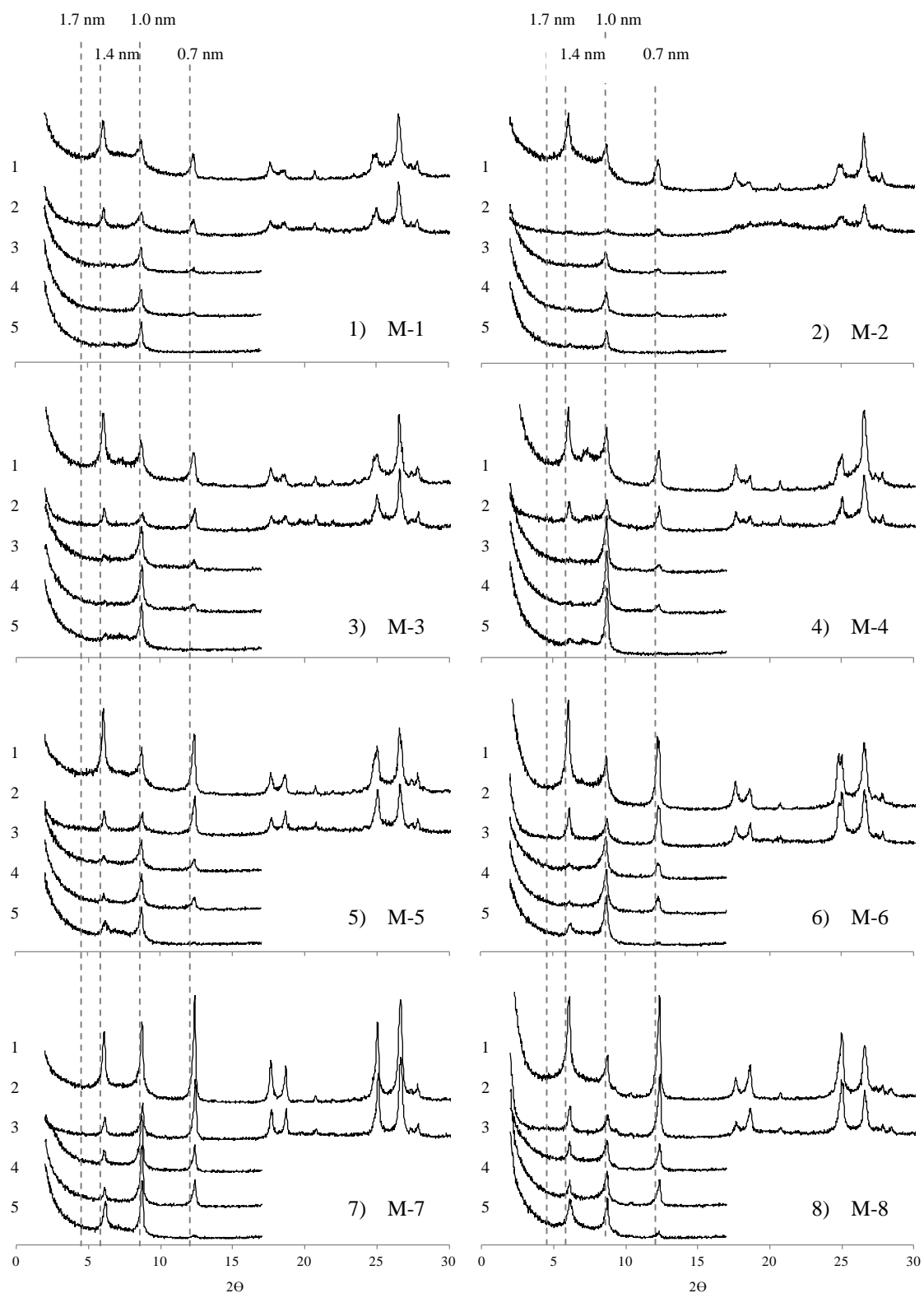


図 4-4-2 モンゴル表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和 2: Mg 飽和グリセロール処理  
 3: K 飽和 4: K 飽和 300℃処理 5: K 飽和 500℃処理

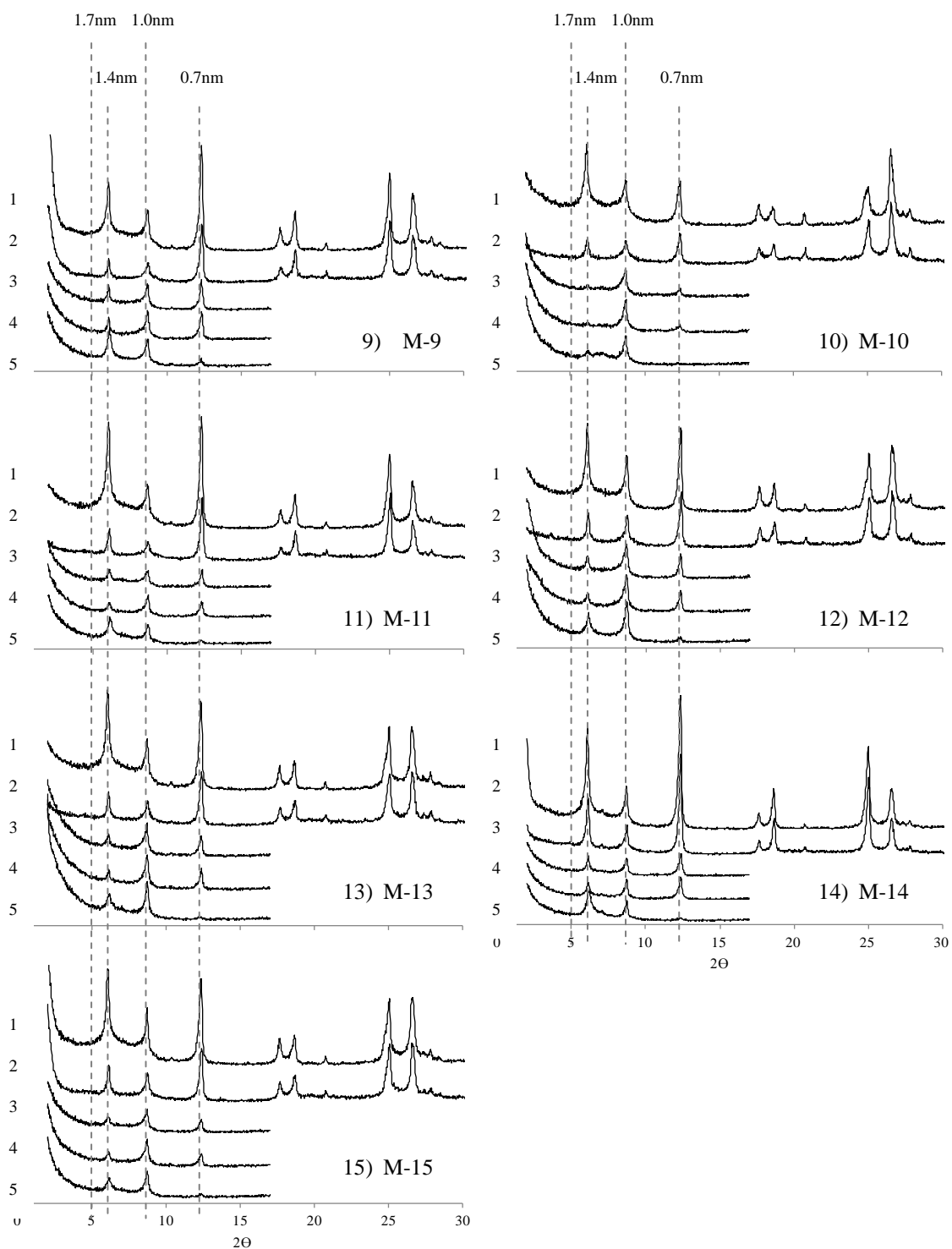


図 4-4-2 (続き) モンゴル表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和 2: Mg 飽和グリセロール処理  
 3: K 飽和 4: K 飽和 300℃処理 5: K 飽和 500℃処理

表 4-4-3 モンゴル表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 

調査地点	気候区分*	乾燥度指数 (AI)	粒径画分中の有機炭素量および全窒素量 有機炭素量				表層土壌中の各粒径画分の有機炭素と全窒素量の割合 有機炭素量				C/N			
			(g/kg soil)				(% in soil OC and TN)							
			Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand	Clay	Silt	Sand
M-12		0.16	2.63	2.00	0.39	0.38	0.24	0.04	53.1	40.4	7.9	53.9	33.8	5.9
M-13		0.16	3.49	3.18	0.35	0.46	0.30	0.03	50.6	46.2	5.0	52.4	34.4	3.8
M-15	Arid	0.17	4.16	4.33	0.60	0.51	0.41	0.06	46.6	48.4	6.7	50.2	40.5	5.5
M-14		0.19	7.16	8.01	1.08	0.85	0.82	0.10	42.0	47.0	6.4	45.6	44.1	5.5
M-8		0.24	4.70	4.58	0.79	0.63	0.46	0.06	46.1	45.0	7.7	47.0	34.7	4.2
M-9		0.27	8.46	9.61	1.13	1.09	0.99	0.10	44.0	50.0	5.9	44.5	40.5	4.2
M-11	SA-D	0.27	4.01	3.45	0.44	0.53	0.36	0.04	51.1	44.0	5.6	55.8	38.1	4.4
M-6		0.28	4.13	3.26	0.37	0.47	0.29	0.04	56.5	44.6	5.1	55.6	34.8	5.2
M-2		0.31	9.26	4.96	0.40	1.10	0.40	0.03	64.1	34.3	2.8	68.6	24.8	2.0
M-5		0.34	3.83	3.13	0.66	0.45	0.30	0.07	46.3	37.8	8.0	48.8	32.2	7.2
M-7	SA-M	0.34	3.31	4.54	0.89	0.40	0.36	0.09	35.7	48.9	9.6	38.8	35.5	8.4
M-1		0.35	9.75	7.74	0.65	1.09	0.63	0.05	52.1	41.4	3.5	55.1	31.5	2.4
M-3		0.35	6.09	3.85	0.48	0.71	0.37	0.09	59.0	37.3	4.6	54.9	28.6	6.6
M-4		0.40	16.29	11.66	1.25	1.78	0.91	0.09	52.3	37.5	4.0	56.2	28.7	2.7
M-10	SM-W	0.41	4.69	3.69	0.38	0.57	0.35	0.06	50.9	40.1	4.1	51.1	30.8	5.5
* A: Arid, SA-D: Semi-dry region (dry), SA-M: Semi-arid region (Moderate), SA-W: Semi-arid region (Wet)														

調査地点	$\delta^{13}\text{C}$				$\delta^{15}\text{N}$			
	Bulk	Clay	Silt	Sand	Bulk	Clay	Silt	Sand
M-12	-20.3	-20.2	-21.7	-21.2	8.70	9.37	6.95	
M-13	-22.9	-22.7	-23.8	-24.2	6.59	7.63	4.69	
M-15	-23.8	-23.3	-24.4	-23.9	5.59	6.45	3.99	
M-14	-23.7	-23.2	-24.4	-24.5	6.35	7.22	4.60	
M-8	-22.6	-22.6	-23.4	-22.8	5.69	6.99	3.83	
M-9	-23.4	-23.0	-23.9	-23.3	5.18	6.71	3.77	
M-11	-22.2	-22.2	-23.0	-23.7	8.88	9.95	6.62	
M-6	-22.6	-22.5	-23.3	-22.5	6.47	7.40	4.36	
M-2	-23.9	-23.4	-24.7	-25.0	5.15	5.76	2.88	
M-5	-22.7	-22.8	-23.6	-22.9	6.33	7.15	4.53	
M-7	-25.1	-24.5	-25.8	-25.7	5.12	6.11	3.42	
M-1	-23.1	-22.6	-23.7	-24.6	7.22	8.01	5.03	
M-3	-23.0	-22.8	-23.6	-23.6	6.94	7.89	4.78	
M-4	-24.9	-24.7	-25.6	-26.0	4.69	5.55	2.93	
M-10	-22.3	-22.3	-22.9	-22.2	11.26	12.50	9.33	

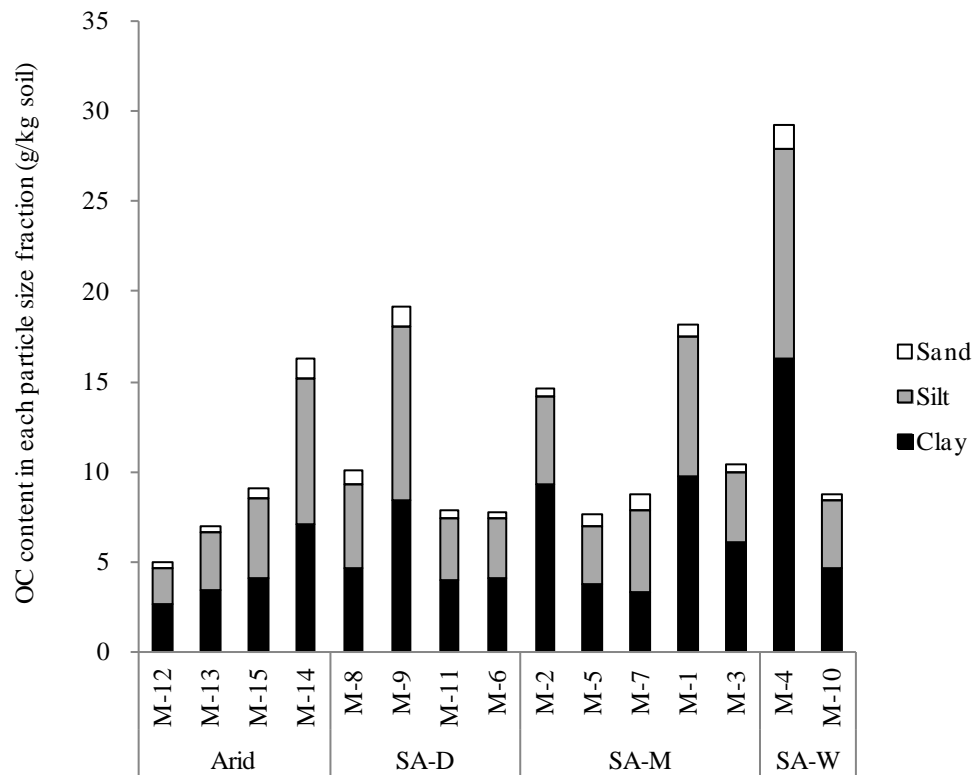


図 4-4-3 モンゴル表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量

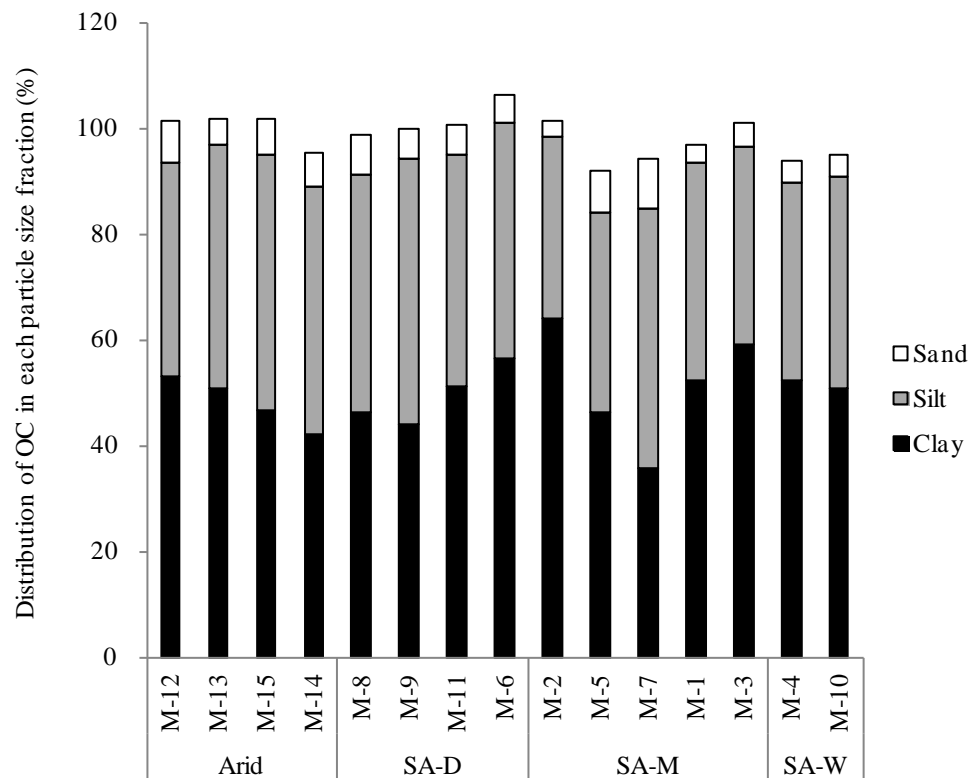


図 4-4-4 モンゴル表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合



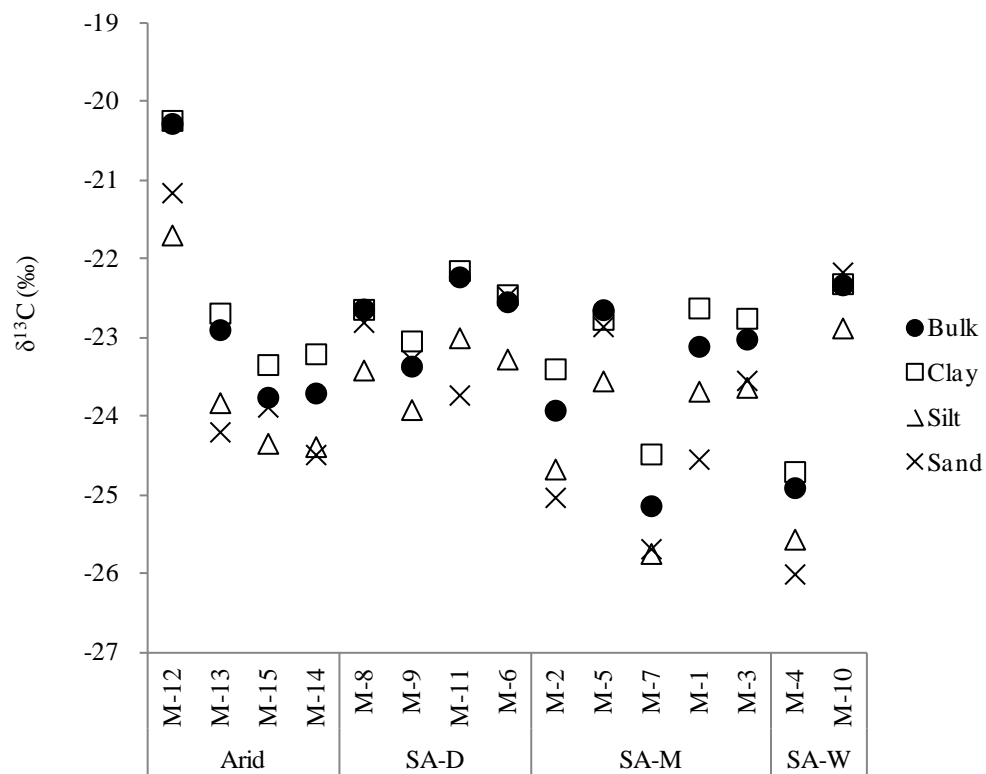


図 4-4-5 モンゴル表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{13}\text{C}$

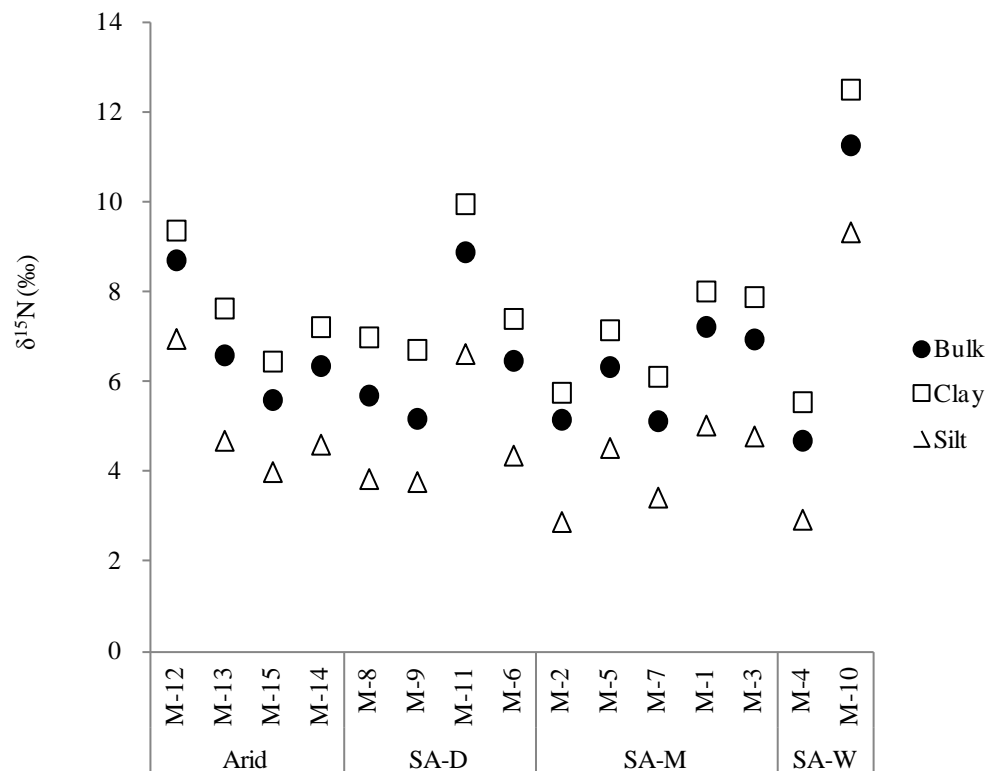


図 4-4-6 モンゴル表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{15}\text{N}$

#### 4-5. 中国内蒙古自治区における土壌断面形態および表層土壌の諸性質

##### 4-5-1. 土壌断面形態

各地点の土壌断面写真および景観を図 4-5-1 に示した。また、土壌断面調査の結果を表 4-5-1 に示した。以下、土壌断面調査の結果について記述する。

##### (1) Saihantara Somu (地点 I-1)

調査年月日: 2006 年 7 月 1 日

天候: 晴れ(調査前)

調査者: 田村憲司・神田隆志

調査地点: Western part of Xinbaragyouqi, Hulunbeier city, Inner Mongolia, China

緯度経度: N48°29'28.0" E116°35'14.5"

地質母岩: -

堆積様式: 残積成/風成

気候: ステップ気候

地形: 丘陵地上部平坦面

標高: 630 m

傾斜: なし

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩:  $\phi 5-70$  mm(25%)

人為: 禁牧地(以前は過放牧状態)

優占種: *Allium polyrhizum*, *Carex korshinskyi*

##### 断面形態

A1 (0-7 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4/4(乾)、SiC、未風化亜角礫  $\phi 5-10$  mm(7%)、亜角塊状構造 発達中度  $\phi 10-70$  mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 15、孔隙なし、細小根含む、非石灰質、層界波状判然

A2 (7-17 cm): 10YR3/3(湿)-10YR3/4(乾)、SiC、未風化角礫  $\phi 10-20$  mm(10%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細管状富むおよび細小泡状あり、細根富むおよび小根含む、非石灰質、層界不規則判然

A3k (17-35 cm): 7.5YR3/2(湿)-10YR3/4(乾)、SC、未風化角礫  $\phi 10$  mm(5%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 32、細管状富む、細根あり、極強石灰質、層界不規則漸変

Bk1 (35-54 cm): 7.5YR5/2(乾)、SC、未風化角礫  $\phi 5-20$  mm(20%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 30、細管状あり、細根あり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bk2 (54-70 cm): 7.5YR7/1(乾)、HC、半風化角礫  $\phi 30$  mm(5%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 10-30$  mm、粘着性中、可塑性強、ち密度 28、細管状含む、細根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bck (70-85+ cm): 5YR5/3(乾)、HC、半風化角礫  $\phi 30$  mm(5%)、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 33、細管状富む、細根まれにあり、極強石灰質

##### (2) Dalai Somu (地点 I-2)

調査日: 2006 年 7 月 2 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・田村憲司

調査地点: Hangwura, Hulunbeier city, Inner Mongolia, China

緯度経度: N49°14'41.8" E116°55'20.3"

地質母岩: -

堆積様式: 残積成/風成

気候: ステップ気候

標高: 728 m

傾斜: なし  
侵食: シート侵食軽微  
排水性: 良好  
地表の露岩:  $\phi 5-50$  mm(10%)  
地形: 丘陵地平坦面  
人為: 放牧  
優占種: *Stipa krylovii*, *Chenopodium acuminatum*, *Caragana microphylla*, *Leymus chinensis*

#### 断面形態

A1 (0-7 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/4(乾)、SiCL、未風化亜角礫  $\phi 2-10$  mm(5%)、細粒状構造発達  
中度  $\phi 1-3$  mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 17、孔隙なし、細根含むおよび小中  
根あり、非石灰質、層界波状判然  
A2 (7-19 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/4(乾)、SiC、未風化亜角礫  $\phi 2-20$  mm(7%)、細粒状構造発達  
中度  $\phi 1$  mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 18、孔隙なし、細根富む・小中根あり・  
大根まれにあり、非石灰質、層界平坦判然  
AB (19-44 cm): 10YR3/3(湿)-10YR4/3(乾)、SiC、未風化亜角礫  $\phi 2-40$  mm(20%)、壁状構造、粘  
着性弱、可塑性中、ち密度 31、細管状あり、細根含むおよび小中大根あり、非石  
灰質、層界波状判然  
Bw (44-57 cm): 10YR6/3(乾)、SiC、未風化亜角礫  $\phi 2-50$  mm(15%)、亜角塊状構造発達弱度  $\phi 5-15$   
mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 25、細管状含む、細根ありおよび小根まれに  
あり、非石灰質、層界平坦明瞭  
Bk1 (57-77 cm): 10YR7/3(乾)、HC、未風化亜角礫  $\phi 10-60$  mm(25%)、壁状構造、粘着性弱、可  
塑性中、ち密度 28、細管状含む、細根あり、極強石灰質、層界不規則明瞭  
Bk2 (70-100+ cm): 10YR8/1(乾)、HC、礫土、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 30、孔  
隙なし、細根まれにあり、極強石灰質

#### (3) Aoerjin pasture in Manchuria (地点 I-3)

調査年月日: 2006 年 7 月 4 日  
天候: 曇りのち雨(調査前: 雨)  
調査者: 田村憲司・神田隆志  
調査地点: Aoerjin pasture in southern part of Manchuria, Hulunbeier city, Inner  
Mongolia, China  
緯度経度: N49°31'29.1" E117°20'10.1"  
地質母岩: レス  
堆積様式: 風成  
気候: ステップ気候  
地形: 丘陵地極緩斜面中部  
標高: 749 m  
傾斜: -, 3%  
侵食: なし  
排水性: 良好  
地表の露岩:  $\phi 10-50$  mm(1%)  
人為: 放牧  
優占種: *Leymus chinensis*, *Stipa krylovii*, *Stipa grandis*, *Chenopodium aristatum*

#### 断面形態

A1 (0-7 cm): 10YR2/3(湿)-10YR2/3(半湿)、SiL、礫なし、団粒状構造発達中度  $\phi 1-5$  mm、粘着  
性弱、可塑性弱、ち密度 14、孔隙なし、細小根富むおよび中根あり、非石灰質、  
層界波状漸変  
A2 (7-22 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/2(半湿)、SiL、礫なし、団粒状構造発達弱度  $\phi 1-3$  mm およ

び亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 10-50 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 20、孔隙なし、細根富むおよび小根含む、非石灰質、層界波状明瞭

AB (22-37 cm): 10YR3/4(半乾)、SiC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度 30、細小管状あり、細根ありおよび小根まれにあり、中石灰質、層界不規則明瞭

Bk1 (37-57 cm): 10YR6/3(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 32、細管状富む、細根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bk2 (57-76 cm): 10YR6/3(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 31、細管状富む、細中根まれにあり、極強石灰質、層界不規則明瞭

Bk3 (76-90+ cm): 10YR7/3(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性中、可塑性強、ち密度 31、細管状富む、根なし、極強石灰質

#### (4) Hake pasture in Hailar (地点 I-4)

調査年月日: 2006 年 7 月 8 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・田村憲司

調査地点: Hake pasture in east part of Hailar, Hulunbeier city, Inner Mongolia, China

緯度経度: N49°15'19.9" E120°12'44.8"

地質母岩: レス

堆積様式: 風成

気候: ステップ気候

地形: 低山丘陵地寛谷斜面下部傾斜

標高: 643 m

傾斜: S50°W, 12°

侵食: なし

排水性: 良好

地表の露岩: なし

人為: 採草地

優占植生: *Bromus intermis*, *Carex pediformis*, *Leymus chinensis*

#### 断面形態

A1 (0-8 cm): 10YR2/1(湿)-10YR2/3(乾)、SiC、礫なし、団粒状構造発達中度  $\phi$ 1-5 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 16、孔隙なし、細根あり、非石灰質、層界波状判然

A2 (8-21 cm): 10YR2/1(湿)-10YR2/3(乾)、SiC、礫なし、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-40 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度 21、細管状あり、細根富むおよび小根含む、非石灰質、層界平坦明瞭

A3 (21-48 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/3(乾)、HC、礫なし、亜角塊状構造発達中度  $\phi$ 5-60 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度 22、細管状あり、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状漸変

AB (48-70 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/3(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度 28、細管状あり、細根あり、非石灰質、層界不規則判然

Bk (70-95+ cm): 10YR3/4(湿)-10YR5/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度 28、細管状あり、細根まれにあり、極強石灰質(HCl による発泡 90 cm から認められる)

<その他: 地表面におそらく隣接している耕地(裸地)からの約 1 cm の再堆積物(ち密度 1-2 cm)>

#### (5) Hangwura (地点 I-5)

調査年月日: 2009 年 7 月 24 日

天候: 晴れ(調査前: 晴れ)

調査者: 神田隆志・蒙仕康

調査地点: Hangwura, Hulunbeier city, Inner Mongolia, China

緯度経度: N48°31'57.7" E116°40'09.8"  
地質母岩: -  
堆積様式: -  
気候: ステップ気候  
地形: 丘陵地極緩斜面中腹  
標高: 575 m  
傾斜: S60°W, 1.5°  
侵食: シート侵食軽度  
排水性: 良好  
地表の露岩: 亜角礫 $\phi$ 20 mm(1%), 円～亜円礫 $\phi$ 2 mm(<50%)  
人為: 放牧  
優占種: *Allium polyrhizum*

#### 断面形態

- A1 (0-8 cm): 10YR3/3(湿)-10YR3/4(乾)、SC、未風化円～亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(5%)、亜角塊状構造発達中度 $\phi$ 10-40 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度25、細管状富むおよび小管状含む、細小根含むおよび中根まれにあり、非石灰質、層界不規則判然
- A2 (8-24 cm): 10YR3/3(湿)-10YR3/4(乾)、SC、未風化円～亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(10%)、亜角塊状構造発達中度5-50 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度22、細管状富むおよび小管状あり、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界波状漸変
- AB (24-35 cm): 10YR4/4(乾)、SC、未風化円～亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(20%)、亜角塊状構造発達中度 $\phi$ 5-45 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度25、細管状富む、細根含むおよび小根あり、非石灰質、層界不規則明瞭
- Bk1 (35-57 cm): 10YR5/4(乾)、SCL、未風化円～亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(15%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 10-50 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度32、細管状含む、細小根あり、弱石灰質、層界不規則判然
- Bk3 (57-80 cm): 10YR7/4(乾)、SCL、未風化円～亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(15%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度32、細管状あり、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然
- Bk5 (80-100+ cm): 10YR6/4(乾)、SCL、未風化円～亜円礫 $\phi$ 2-5 mm(30%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性中、ち密度32、細管あり、細根まれにあり、強石灰質

#### (6) Hunlunzhen (地点I-6)

調査年月日: 2009年7月26日  
天候: 晴れ(調査前: 晴れ)  
調査者: 神田隆志・蒙仕康  
調査地点: Hunlunzhen between Xinbaragyouqi and Manchuria, Hulunbeier city, Inner Mongolia, China  
緯度経度: N49°14'43.9" E116°55'34.0"  
地質母岩: -  
堆積様式: 残積成/風成  
気候: ステップ気候  
地形: 平坦地  
標高: 749 m  
傾斜: なし  
侵食: シート侵食極微  
排水性: 良好  
地表の露岩: 亜角礫 $\phi$ 20-40 mm(2%)  
人為: 禁牧(2007年から2年間)  
優占種: *Stipa krylovii*, *Leymus chinense*, *Agropyron cristatum*

#### 断面形態

- A1 (0-6 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/3(乾)、SiC、未風化亜角礫 $\phi$ 5-10 mm(1%)、亜角塊状構造発達中度 $\phi$ 5-50 mmおよび団粒状構造発達弱度、粘着性弱、可塑性強、ち密度19、細小根含むおよび中根まれにあり、非石灰質、層界波状判然
- A2 (6-15 cm): 10YR2/3(湿)-10YR3/3(乾)、CL、未風化亜角礫 $\phi$ 2-7 mm(1%)、亜角塊状構造発達中度 $\phi$ 5-30 mmおよび団粒状構造発達弱度、粘着性弱、可塑性強、ち密度26、細根含む・小根あり・中根まれにあり、非石灰質、層界波状判然
- AB (15-27 cm): 10YR3/2(湿)-10YR3/4(乾)、LiC、未風化亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(1%)、亜角塊状構造発達中度 $\phi$ 5-50 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度31、細根ありおよび小大根まれにあり、非石灰質、層界波状明瞭
- Bk1 (27-40 cm): 10YR6/3(乾)、SiC、未風化亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(1%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 10-60 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度28、細根ありおよび小中根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然
- Bk2 (40-50 cm): 10YR6/3(乾)、SiC、未風化亜角礫 $\phi$ 2-5 mm(1%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 5-30 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度25、細根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然
- Bk3 (50-68 cm): 10YR5/4(乾)、SiC、未風化亜角礫 $\phi$ 2-15 mm(1%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 10-40 mm、粘着性弱、可塑性強、ち密度28、細大根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然
- Bk4 (68-94 cm): 10YR5/4(乾)、HC、未風化亜角礫 $\phi$ 2-30 mm(1%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度28、細根まれにあり、極強石灰質、層界平坦判然
- Bk5 (94-100+ cm): 10YR6/4(乾)、HC、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性強、ち密度31、乾、根なし、極強石灰質

#### (7) Monongtala (地点I-7)

調査年月日: 2009年7月29日

天候: 晴れ(調査前: 雨)

調査者: 神田隆志・蒙仕康

調査地点: Monongtala in southern part of Hulunbeier city, Inner Mongolia, China

緯度経度: N47°55'03.3" E117°23'24.1"

地質母岩: -

堆積様式: 残積成

気候: ステップ気候

地形: 平坦地

標高: 612 m

傾斜: なし

侵食: シート侵食軽微

排水性: 良好

地表の露岩: 亜角礫 $\phi$ 2 mm(30%)

人為: 放牧(柵内)

優占種: *Cleistogenes squarrosa*, *Stipa krylovii*, *Haplophyllum dauricum*

#### 断面形態

- A1 (0-6 cm): 7.5YR3/3(湿)-10YR3/4(半湿)、SL、礫なし、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 2-4 mmおよび団粒状構造発達中度 $\phi$ 1-10 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度13、細小根含むおよび中根まれにあり、非石灰質、層界波状判然
- A2 (6-15 cm): 7.5YR3/3(湿)-7.5YR3/4(半湿)、SL、未風化亜角礫 $\phi$ 2 mm(1%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 15-40 mmおよび団粒状構造発達中度 $\phi$ 1-10 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度19、細根含む・小根あり・中根まれにあり、非石灰質、層界波状判然
- A3 (15-23 cm): 7.5YR3/4(湿)-7.5YR3/4(半湿)、SL、未風化亜角礫 $\phi$ 2 mm(1%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 10-30 mmおよび団粒状構造発達中度 $\phi$ 2-5 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち

密度18、細小根ありおよび大根まれにあり、非石灰質、層界波状明瞭  
 BA1 (23-37 cm): 7.5YR4/4(乾)、SL、未風化亜角礫 $\phi$ 2-3 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 10-40 mm、粘着性弱、可塑性弱、ち密度29、細根あり、小根まれにあり、非石灰質、層界不規則判然  
 BA2 (37-55 cm): 10YR4/6(乾)、SL、未風化亜角礫 $\phi$ 2-3 mm(3%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度31、細小中大根まれにあり、非石灰質、層界波状明瞭  
 Bk1 (55-61 cm): 10YR6/3(乾)、SC、未風化亜角礫 $\phi$ 2-3 mm(3%)、亜角塊状構造発達弱度 $\phi$ 5-40 mm、粘着性弱、可塑性中、ち密度31、細小根まれにあり、極強石灰質、層界波状判然  
 Bk2 (61-75 cm): 10YR7/3(乾)、SCL、礫なし、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度32、細根まれにあり、極強石灰質、層界不連続明瞭  
 BC (75-100+ cm): 10YR7/4(乾)、SL、未風化亜角礫  $\phi$ 2-3 mm(7%)、壁状構造、粘着性弱、可塑性弱、ち密度 35、細根まれにあり、極強石灰質

#### 4-5-2. 中国内蒙古自治区土壤断面の理化学性および粘土鉱物組成

各地点の土壤断面層位別試料の理化学性を表 4-5-2 に示した。

表層土壤の pH(H<sub>2</sub>O)は、6.5-8.0 を示し、中性から弱塩基性であったが、下層ほど pH(H<sub>2</sub>O)の値は高くなった。有機炭素量および全窒素量は、9.17-30.05 (g/kg)、1.05-2.92 (g/kg)を示し、I-4 で最も高く、I-7 で低い値であった。また、C/N は、7.4-10.3 と、I-1 および I-7 では 7.4、7.7 の低い値を示し、I-4 で最も高い値であった。CaCO<sub>3</sub>量は、0.36-1.5 (%)と、全地点 2%以下と、非常に低いが、I-4 以外で、下層に 15%程度の高い値が示された。粒径組成は、粘土含量が 9.0-28.8 (%)、シルト含量が、5.9-19.8 (%)、砂含量が、51.4-85.1 (%)であり、I-7 では非常に粗粒質であることが示された。

Fed-o は、2.39-5.87 (g/kg)、Feo および Alo は、それぞれ、0.53-1.96 (g/kg)、0.42-1.58 (g/kg)を示し、粗粒質である I-7 で低い値であった。また、Fep と Alp は、0.08-0.30 (g/kg)、0.16-0.47 (g/kg)と、I-4 で高い値を示し、Fed-o、Feo、Alo 同様に、I-7 で低い値を示した。Cap は、0.95-4.79 (g/kg)となり、上記同様に、I-4 で高く、I-7 で低い結果となった。

中国内蒙古自治区表層土壤の粘土鉱物組成の結果を図 4-4-2 に示した。Mg 飽和試料の具リセロール処理で確認される 1.4 nm から 1.7 nm へのスメクタイトの膨張は、I-1 および I-3 で認められた。他の国・地域同様に、Mg 飽和处理では、1.4 nm、1.0 nm、0.7 nm に全地点明瞭なピークが認められたが、1.4 nm のピークは、K 飽和および K 飽和 550℃処理で確認できないことから、クロライトの存在は示されず、この結果から、Mg 飽和の 1.4 nm のピークは、I-1 および I-3 では、スメクタイトとパーミキュライト、I-1 と I-3 以外では、パーミキュライトのみのピークであると判断された。その他、1.0 nm のピークは、Mg 飽和試料のグリセロール処理で変化しないことから、イライトが存在していることが確認された。また、0.7 nm のピークは、K 飽和 550℃処理で大部分消失することから、カオリン鉱物の存在が確認された。

#### 4-5-3. 表層土壤における各粒径画分中の有機炭素量と全窒素量および安定同位体組成

中国内蒙古自治区表層土壤の各粒径画分中の有機炭素量および全窒素量を表 4-5-3 と図 4-5-3、4-5-4 に、安定同位体組成の結果を表 4-5-4 と図 4-5-5、4-5-6 に示した。

各粒径画分中の有機炭素量は、粘土画分では 5.56-18.21 (g/kg)、57.7-70.3 (%)、シルト画分中では 3.72-10.27 (g/kg)、33.3-41.7 (%)、砂画分中では 0.40-0.77 (g/kg)、2.5-4.6 (%)となり、砂画分で非常に少なく、全ての地点で、粘土画分>シルト画分>砂画分の順に減少した。また、表層土壤中の有機炭素量が最も少なかった I-7 においては、全ての画分の有機炭素量も最も少なくなった。

C/N は、粘土画分では 8.1-10.3、シルト画分では 10.8-13.4、砂画分では 8.7-13.9 となり、I-7 を除き、粘土画分で最も小さくなった。また、I-1、I-3 および I-7 の砂画分の C/N が、粘土またはシルト画分中の C/N よりも小さくなった。

$\delta^{13}\text{C}$  は、Bulk 土壤では-21.3~-24.8 (‰)、粘土画分では-20.8~-24.1 (‰)、シルト画分では-22.1~-25.3 (‰)、砂画分では-23.3~-26.2 (‰)を示し、全地点において、粘土画分<シルト画分<砂画分の順に小さくなる結果となった。また、Bulk 土壤の  $\delta^{13}\text{C}$  が最も大きい I-1 と最も小さい I-4

の  $\delta^{13}\text{C}$  は、粘土、シルト、砂画分全てにおいて、他の地点と比較して、最大および最小であった。一方、 $\delta^{15}\text{N}$  は、Bulk 土壌では 4.96～8.59、粘土画分では 5.60～8.79、シルト画分では 2.94～6.71 となり、 $\delta^{13}\text{C}$  同様、粘土およびシルト画分において、I-1 で最も大きい値を示した。しかし、最小値については、 $\delta^{13}\text{C}$  とは異なり、I-7 で示された。





Site: I-1  
Land-use:  
Grazing enclosure

Soil: **Kastanozem**



Site: I-2  
Land-use:  
Grazing grassland

Soil: **Kastanozem**



Site: I-3  
Land-use:  
Grazing grassland

Soil: **Kastanozem**



Site: I-4  
Land-use:  
Mowing pasture

Soil: **Chernozem**



図 4-5-1 中国内蒙古自治区の土壤断面写真および景観写真



Site: I-5  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Kastanozem**



Site: I-6  
Land-use:  
Grazing exclosure  
(2 years)  
Soil: **Kastanozem**



Site: I-7  
Land-use:  
Grazing grassland  
Soil: **Cambisol**



図 4-5-1 (続き) 中国内蒙古自治区の土壌断面写真および景観写真

表 4-5-1 中国内蒙古自治区土壤の土壤断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (乾)	(湿)	土性	礫	構造	粘着性可塑性	硬度 (mm)	HCl反応*	その他 (観察結核など)
I-1	Saihantala Sornu	地表の露岩: Ø5-70mm(25%)										
		A1	0-7	10YR4/4	10YR3/3	SC	未風化亜角礫Ø5-10mm(7%)	亜角塊状構造中度Ø10-70mm	弱弱	15	-	
		A2	7-17	10YR3/4	10YR3/3	SC	未風化角礫Ø10-20mm(10%)	壁状構造	弱弱	30	-	
		A3k	17-35	10YR3/4	7.5YR3/2	SC	未風化角礫Ø10mm(5%)	壁状構造	弱弱	32	+++	
		Bk1	35-54	7.5YR5/2	SC	SC	未風化角礫Ø5-20mm(20%)	壁状構造	弱弱	30	+++	
I-2	Dali Sornu	Bk2	54-70	7.5YR7/1	HC	HC	半風化角礫Ø30mm(5%)	亜角塊状構造弱度Ø10-30mm	中強	28	+++	
		Bck	70-85+	5YR5/3	HC	HC	半風化角礫Ø30mm(5%)	壁状構造	中強	33	+++	
		地表の露岩: Ø5-50mm(10%)										
		A1	0-7	10YR3/4	10YR2/3	SiCL	未風化亜角礫Ø2-10mm(5%)	細粒状構造中度Ø1-3mm	弱弱	17	-	
		A2	7-19	10YR3/4	10YR2/3	SC	未風化亜角礫Ø2-20mm(7%)	細粒状構造中度Ø1mm	弱中	18	-	
I-3	Aocerjin pasture in Manchuria	AB	19-44	10YR4/3	10YR3/3	SC	未風化亜角礫Ø2-40mm(20%)	壁状構造	弱中	31	-	
		Bw	44-57	10YR6/3	SC	SC	未風化亜角礫Ø2-50mm(15%)	亜角塊状構造弱度Ø5-15mm	弱中	25	-	
		Bk1	57-77	10YR7/3	HC	HC	未風化亜角礫Ø10-60mm(25%)	壁状構造	弱中	28	+++	礫にCaCO <sub>3</sub> 付着
		Bk2	77-100+	10YR8/1	HC	HC	礫土	壁状構造	中強	30	+++	礫にCaCO <sub>3</sub> 付着
		地表の露岩: Ø10-50mm(1%)										
I-4	Hake pasture in Hailar	A1	0-7	10YR2/3	10YR2/3	SiL	なし	団粒構造中度Ø1-5mm	弱弱	14	-	
		A2	7-22	10YR3/2	10YR2/3	SiL	なし	団粒構造弱度Ø1-3mm	弱弱	20	-	
		AB	22-37	10YR3/4	SC	SC	なし	壁状構造	弱中	30	+	
		Bk1	37-57	10YR6/3	HC	HC	なし	壁状構造	中強	32	+++	
		Bk2	57-76	10YR6/3	HC	HC	なし	壁状構造	中強	31	+++	
I-4	Hake pasture in Hailar	Bk3	76-90+	10YR7/3	HC	HC	なし	壁状構造	中強	31	+++	
		地表の露岩: なし										
		A0	0-1									隣接した耕地からの再堆積物質
		A1	0-8	10YR2/3	10YR2/1	SC	なし	団粒構造中度Ø1-5mm	弱中	1	-	
		A2	8-21	10YR2/3	10YR2/1	SC	なし	亜角塊状構造中度Ø5-40mm	弱中	16	-	
I-4	Hake pasture in Hailar	A3	21-48	10YR3/3	10YR2/3	HC	なし	亜角塊状構造中度Ø5-60mm	弱強	21	-	
		AB	48-70	10YR3/3	10YR2/3	HC	なし	壁状構造	弱強	22	-	
		Bk	70-95+	10YR5/4	10YR3/4	HC	なし	壁状構造	弱強	28	-	
										28	+++	90cmからHClによる発泡

\*, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質

表 4-5-1 (続き) 中国内蒙古自治区土壤の土壤断面形態

調査地No.	調査地	層位	深度 (cm)	土色 (乾)	(湿)	土性	礫	構造	粘着性/可塑性	硬度 (mm)	HC反応*	その他 (斑紋結核など)
I-5	Hangwula	地表の露岩: 亜角礫Ø2mm(30%)										
		A1	0-8	10YR3/4	10YR3/3	SC	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(5%)	亜角塊状構造 中度Ø10-40mm	弱/強	25	-	
		A2	8-24	10YR3/4	10YR3/3	SC	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(10%)	亜角塊状構造 中度Ø5-50mm	弱/中	22	-	
		A3	24-35	10YR4/4	SC	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(20%)	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(20%)	亜角塊状構造 中度Ø5-45mm	弱/強	25	-	
		ABk	35-57	10YR5/4	SCL	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(15%)	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(15%)	亜角塊状構造 弱度Ø10-50mm	弱/中	32	+	
		Bk1	57-80	10YR7/4	SCL	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(15%)	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(15%)	壁状構造	弱/中	32	+++	
		Bk2	80-100+	10YR6/4	SCL	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(30%)	未風化円～亜角礫Ø2-5mm(30%)	壁状構造	弱/中	32	++	
I-6	Hunlunzhen	地表の露岩: 亜角礫Ø20-40mm(2%)										
		A1	0-6	10YR3/3	10YR2/3	SC	未風化亜角礫Ø5-10mm(1%)	亜角塊状構造 中度Ø5-50mm, 団粒構造 弱度	弱/強	19	-	
		A2	6-15	10YR3/3	10YR2/3	CL	未風化亜角礫Ø2-7mm(1%)	亜角塊状構造 中度Ø5-30mm, 団粒構造 弱度	弱/強	26	-	
		AB	15-27	10YR3/4	10YR3/2	L/C	未風化亜角礫Ø2-5mm(1%)	亜角塊状構造 中度Ø5-50mm	弱/強	31	-	
		Bk1	27-40	10YR6/3	SC	未風化亜角礫Ø2-5mm(1%)	未風化亜角礫Ø2-5mm(1%)	亜角塊状構造 弱度Ø10-60mm	弱/中	28	+++	
		Bk2	40-50	10YR6/3	SC	未風化亜角礫Ø2-5mm(1%)	未風化亜角礫Ø2-5mm(1%)	亜角塊状構造 弱度Ø5-30mm	弱/中	25	+++	
		Bk3	50-68	10YR5/4	SC	未風化亜角礫Ø2-15mm(1%)	未風化亜角礫Ø2-15mm(1%)	亜角塊状構造 弱度Ø10-40mm	弱/強	28	+++	
I-7	Monongtala	Bk4	68-94	10YR5/4	HC	未風化亜角礫Ø2-30mm(1%)	未風化亜角礫Ø2-30mm(1%)	壁状構造	弱/強	28	+++	
		Bk5	94-100+	10YR6/4	HC	なし	なし	壁状構造	弱/強	31	+++	
		地表の露岩: 亜角礫Ø2mm(30%)										
		A1	0-6	10YR3/4	7.5YR3/3	SL	なし	亜角塊状構造 弱度Ø20-40mm, 団粒構造 中度1-10mm	弱/弱	13	-	
		A2	6-15	7.5YR3/4	7.5YR3/3	SL	未風化亜角礫Ø20mm(1%)	亜角塊状構造 弱度Ø15-40mm, 団粒構造 中度1-10mm	弱/弱	19	-	
		A3	15-23	7.5YR3/4	7.5YR3/4	SL	未風化亜角礫Ø20mm(1%)	亜角塊状構造 弱度Ø10-30mm, 団粒構造 中度2-5mm	弱/弱	18	-	
		BA1	23-37	7.5YR4/4	SL	未風化亜角礫Ø20-30mm(3%)	未風化亜角礫Ø20-30mm(3%)	亜角塊状構造 弱度Ø10-40mm	弱/弱	29	-	
I-7	Monongtala	BA2	37-55	10YR4/6	SL	未風化亜角礫Ø20-30mm(3%)	未風化亜角礫Ø20-30mm(3%)	壁状構造	弱/弱	31	-	
		Bk1	55-61	10YR6/3	SC	未風化亜角礫Ø20-30mm(3%)	未風化亜角礫Ø20-30mm(3%)	亜角塊状構造 弱度Ø5-40mm	弱/中	31	+++	
		Bk2	61-75	10YR7/3	SCL	なし	なし	壁状構造	弱/弱	32	+++	
		BC	75-100+	10YR7/4	SL	未風化亜角礫Ø20-30mm(7%)	未風化亜角礫Ø20-30mm(7%)	壁状構造	弱/弱	35	+++	

\*, -, 非石灰質; ±, 弱石灰質; +, 中石灰質; ++, 強石灰質; +++, 極強石灰質

表 4-5-2 中国内蒙古自治区土壤断面的理化化学性

No.	深度 層位	pH	OC	TN	C/N	CaCO <sub>3</sub>	Exchangeable base				CEC	Particle size			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable					
							Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>		Clay	Silt	Sand	Fe <sub>d</sub>	Fe <sub>o</sub>	Al <sub>o</sub>	Fe <sub>p</sub>	Al <sub>p</sub>	Ca <sub>p</sub>
(cm)		H <sub>2</sub> O	(g/kg)			(%)	cmol/kg <sup>-1</sup>				cmol/kg <sup>-1</sup>	%			g/kg					
I-1	A1	0-7	6.5	13.66	1.84	7.4	1.2	14.01	5.12	0.36	1.74	19.10	24.3	13.4	62.3	5.51	1.18	1.10	0.17	2.65
	A2	7-17	6.4	11.43	1.45	7.9	1.4	16.73	6.20	0.43	1.25	20.69	17.3	17.6	65.1					
	A3k	17-35	7.0	7.23	0.95	7.6	1.6	18.59	8.05	0.62	0.79	22.72	15.0	18.6	66.3					
	Bk1	35-54	7.5	5.26	0.74	7.1	6.4	35.80	11.39	0.84	0.88	26.15								
	Bk2	54-70	8.9	5.01	0.63	8.0	30.5	59.33	20.91	2.24	1.27	28.43								
	Bck	70-85+	9.1	2.74	0.39	7.0	16.0	35.68	21.60	2.34	0.47	33.87								
I-2	A1	0-7	8.0	18.19	2.17	8.4	1.0	14.92	2.88	0.28	1.58	16.81	22.5	16.2	61.2	5.87	1.40	1.10	0.13	2.71
	A2	7-19	7.7	16.93	1.98	8.5	1.2	16.08	4.37	0.64	0.91	17.61	19.8	12.4	67.8					
	AB	19-44	7.8	9.02	1.22	7.4	1.2	14.88	4.86	0.52	0.84	16.12	23.4	7.9	68.7					
	Bw	44-57	7.8	4.84	0.78	6.2	0.9	11.29	4.41	0.49	0.48	12.91								
	Bk1	57-77	8.3	5.03	0.83	6.1	10.0	27.93	5.96	0.89	0.88	11.60								
	Bk2	77-100+	9.0	2.74	0.43	6.4	15.3	29.11	12.83	1.80	0.39	17.90								
I-3	A1	0-7	8.0	15.46	1.74	8.9	0.8	12.19	2.53	0.26	0.85	13.58	16.0	10.4	73.6	4.19	0.97	0.83	0.17	2.03
	A2	7-22	7.9	12.22	1.43	8.5	0.7	12.27	2.78	0.45	0.75	13.12	15.3	5.7	79.0					
	AB	22-37	7.6	10.66	1.31	8.1	1.9	31.84	4.85	0.32	0.45	19.12								
	Bk1	37-57	8.2	8.22	1.05	7.9	16.1	34.86	4.27	0.83	0.29	14.69								
	Bk2	57-76	8.3	4.47	0.61	7.3	15.2	32.56	4.34	0.55	0.65	11.87								
	Bk3	76-90+	8.5	4.33	0.60	7.2	18.0	30.13	4.31	0.71	0.32	8.88								
I-4	A1	0-8	7.4	30.05	2.92	10.3	1.5	24.32	4.81	0.53	1.20	26.75	28.8	19.8	51.4	4.31	1.96	1.58	0.30	4.79
	A2	8-21	7.1	24.48	2.58	9.5	1.2	20.82	3.72	0.42	0.77	22.37	23.1	17.0	59.9					
	A3	21-48	7.2	20.47	2.12	9.7	1.6	24.21	4.68	0.41	0.69	24.40								
	AB	48-70	7.3	13.13	1.44	9.1	1.5	22.54	4.37	0.70	0.73	22.02								
	Bk	70-95+	7.7	8.41	1.01	8.3	5.1	37.29	3.57	0.63	1.02	17.71								

表 4-5-2 (続き) 中国内蒙古自治区土壤断面的理化学

No.	層位	深度 (cm)	pH	Exchangeable base			CaCO <sub>3</sub> (%)	C/N	TN (g/kg)	OC	TN	CEC cmol.kg <sup>-1</sup>	Particle size			Dithionite, oxalate and pyrophosphate-extractable						
				Ca <sup>2+</sup> cmol.kg <sup>-1</sup>	Mg <sup>2+</sup> cmol.kg <sup>-1</sup>	Na <sup>+</sup> cmol.kg <sup>-1</sup>							K <sup>+</sup> cmol.kg <sup>-1</sup>	Clay %	Silt %	Sand %	Fe <sub>dto</sub> g/kg	Fe <sub>o</sub> g/kg	Al <sub>o</sub> g/kg	Fe <sub>p</sub> g/kg	Al <sub>p</sub> g/kg	Ca <sub>p</sub> g/kg
I-5	A1	0-8	7.0	13.87	1.76	7.9	1.1					22.6	12.1	65.3	5.00	1.22	0.87	0.14	0.25	2.39		
	A2	8-24	7.9	10.22	1.24	8.3	1.4					22.0	12.8	65.3								
	A3	24-35	8.1	7.95	1.04	7.6	1.6															
	ABk	35-57	8.8	3.35	0.47	7.2	1.4															
	Bk1	57-80	9.3	2.27	0.29	7.9	10.9															
	Bk2	80-100+	9.8	1.13	0.16	7.1	5.5															
I-6	A1	0-6	6.9	20.58	2.27	8.7	1.1					23.1	17.0	59.8	5.37	1.51	1.16	0.16	0.31	2.69		
	A2	6-15	7.0	16.48	1.87	8.2	1.3					23.3	15.9	60.9								
	AB	15-27	8.0	14.33	1.70	8.1	1.8					23.1	12.7	64.2								
	Bk1	27-40	8.6	9.68	1.19	8.2	19.4															
	Bk2	40-50	9.0	5.90	0.73	7.5	15.7															
	Bk3	50-68	9.6	3.85	0.46	7.5	14.4															
	Bk4	68-94	9.6	3.69	0.42	9.2	22.1															
	Bk5	94-100+	9.8	3.13	-	-	15.6															
I-7	A1	0-6	6.5	9.17	1.05	7.7	0.4					9.0	5.9	85.1	2.39	0.53	0.42	0.08	0.16	0.95		
	A2	6-15	7.0	7.72	0.97	7.6	0.4					9.0	4.6	86.4								
	A3	15-23	7.2	6.10	0.80	7.3	0.5					11.5	2.8	85.7								
	BA1	23-37	7.4	5.49	0.70	7.4	0.7															
	BA2	37-55	8.0	3.20	0.44	6.3	0.5															
	Bk1	55-61	8.8	4.58	0.63	7.4	13.4															
	Bk2	61-75	8.9	3.40	0.44	7.8	14.7															
	BC	75-100+	9.2	1.18	0.17	6.4	5.3															

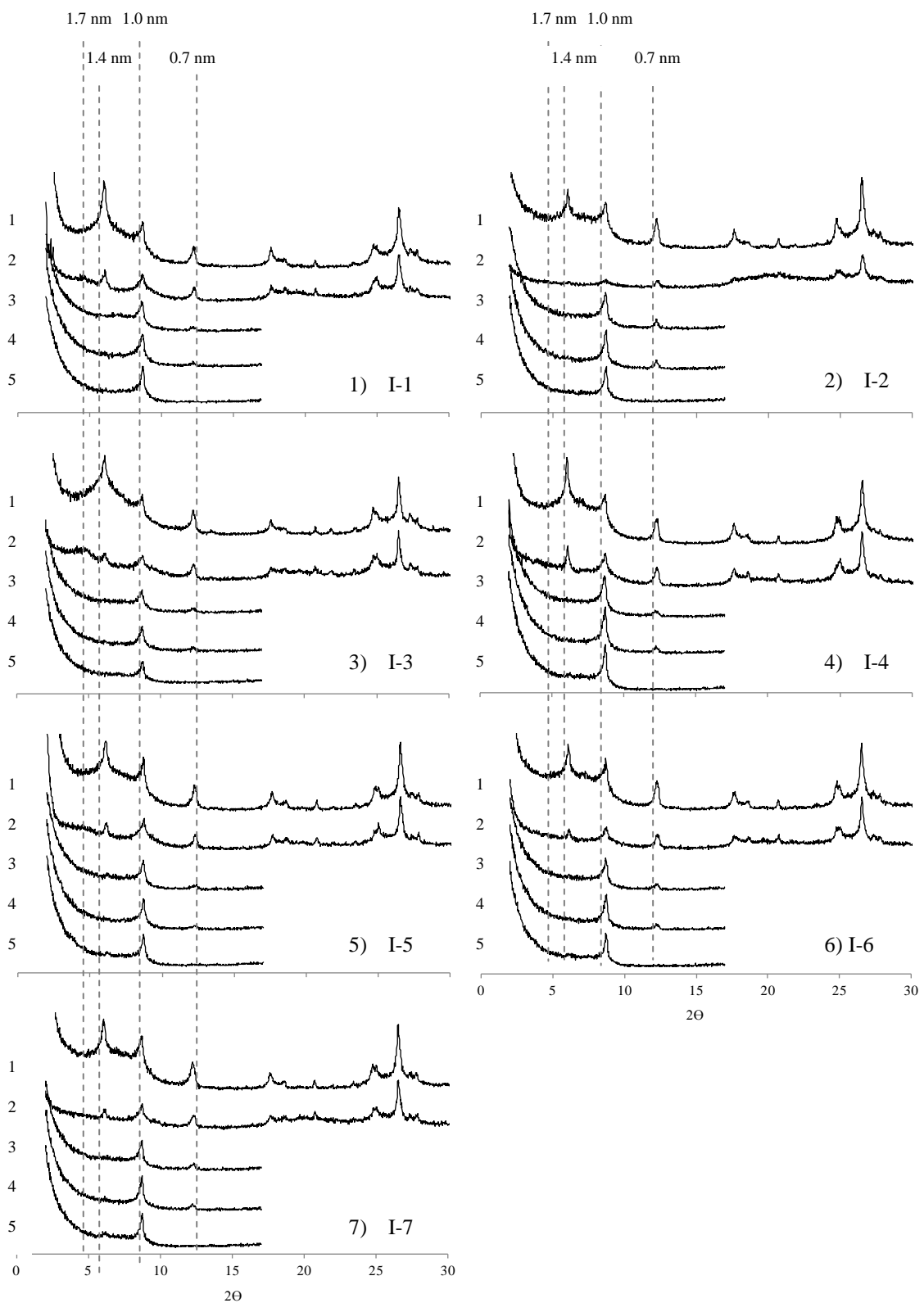


図 4-5-2 中国内蒙古自治区表層土壌の粘土鉱物組成

1: Mg 飽和 2: Mg 飽和グリセロール処理  
 3: K 飽和 4: K 飽和 300℃処理 5: K 飽和 500℃処理

表 4-5-3 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、C/N および  $\delta^{13}\text{C}$ ,  $\delta^{15}\text{N}$ 

調査地点*	気候区分**	乾燥度指数		回収率		粒径画分中の有機炭素量および全窒素量				表層土壌中の各粒径画分の有機炭素と全窒素量の割合			
		Weight		OC		有機炭素量				有機炭素量			
		(AD)	(%)	(%)	TN	Clay	Silt	Sand	(g/kg soil)	Clay	Silt	Sand	(% in soil OC and TN)
I(E)-1	SA-D	0.29	99.6	110.2	91.0	9.04	5.37	0.63	0.47	1.11	0.50	0.06	39.3
I(G)-5		0.30	99.7	104.7	96.6	9.14	4.92	0.47	0.46	1.19	0.46	0.05	35.4
I(G)-7	SA-M	0.31	99.9	105.7	92.4	5.56	3.72	0.40	0.63	0.63	0.29	0.05	40.6
I(G)-2		0.39	99.6	103.6	89.2	10.50	7.59	0.77	1.22	1.22	0.65	0.06	41.7
I(E)-6		0.39	99.8	104.2	96.4	12.58	8.22	0.63	1.49	1.49	0.65	0.05	40.0
I(G)-3	SA-W	0.43	99.3	106.9	95.3	10.86	5.15	0.51	1.23	1.23	0.39	0.04	33.3
I(M)-4	DSH	0.52	99.1	97.3	88.8	18.21	10.27	0.74	1.77	1.77	0.77	0.05	34.2
													60.6
													2.5
													60.6
													26.3
													1.8

\* ( )内は土地利用形態。G: Grazing grassland, E: Grazing exclosure, M: Mowing pasture.

\*\* SA-D: Semi-arid region (dry), SA-M: Semi-arid region (moderate), SA-W: Semi-arid region (Wet), DSH: dry sub-humid.

調査地点*	C/N		$\delta^{13}\text{C}$				$\delta^{15}\text{N}$			
	Clay	Silt	Sand	Bulk	Clay	Silt	Sand	Bulk	Clay	Silt
I(E)-1	8.1	10.8	10.1	-21.3	-20.8	-22.1	-23.3	8.59	8.79	6.71
I(G)-5	7.7	10.7	8.9	-21.3	-20.9	-22.2	-23.5	7.80	8.97	5.85
I(G)-7	8.8	12.7	8.7	-23.3	-22.8	-24.1	-24.5	4.96	5.60	2.94
I(G)-2	8.6	11.7	12.1	-23.1	-22.8	-23.6	-24.3	6.36	7.27	4.19
I(E)-6	8.5	12.6	12.9	-23.4	-23.0	-24.1	-24.8	5.23	6.15	3.02
I(G)-3	8.8	13.2	12.3	-24.2	-23.5	-24.9	-25.5	5.43	5.64	3.09
I(M)-4	10.3	13.4	13.9	-24.8	-24.1	-25.3	-26.2	6.63	7.50	4.31



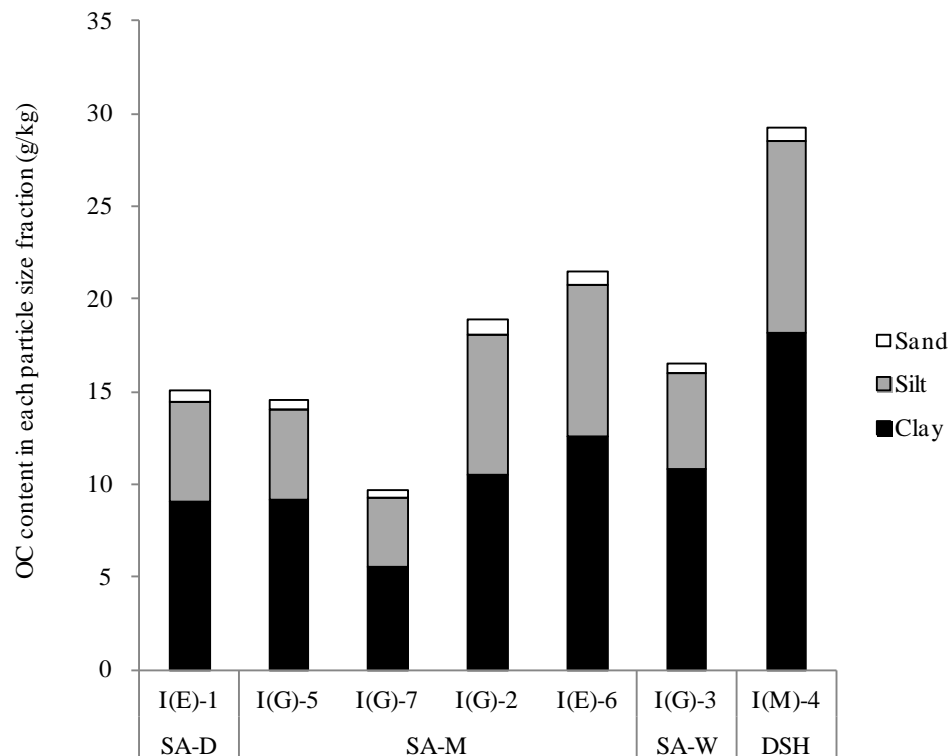


図 4-5-3 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径画分中の有機炭素量  
[0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, E: Grazing enclosure, M: Mowing pasture.]

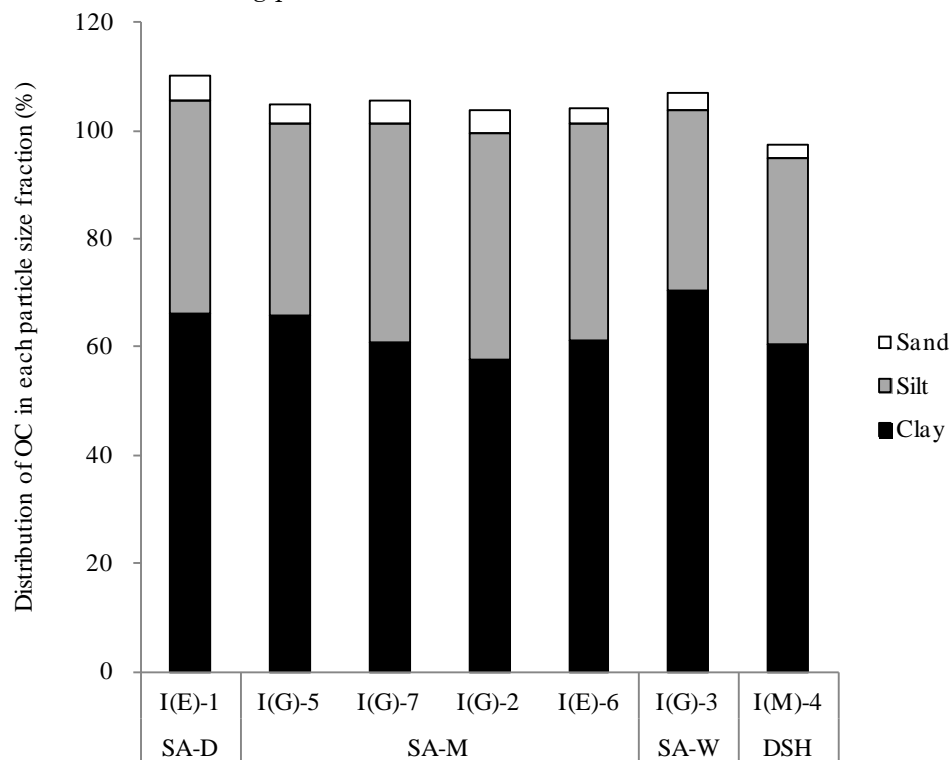


図 4-5-4 中国内蒙古自治区表層土壌の全有機炭素量に占める各粒径画分中の有機炭素割合 [0内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, E: Grazing enclosure, M: Mowing pasture.]

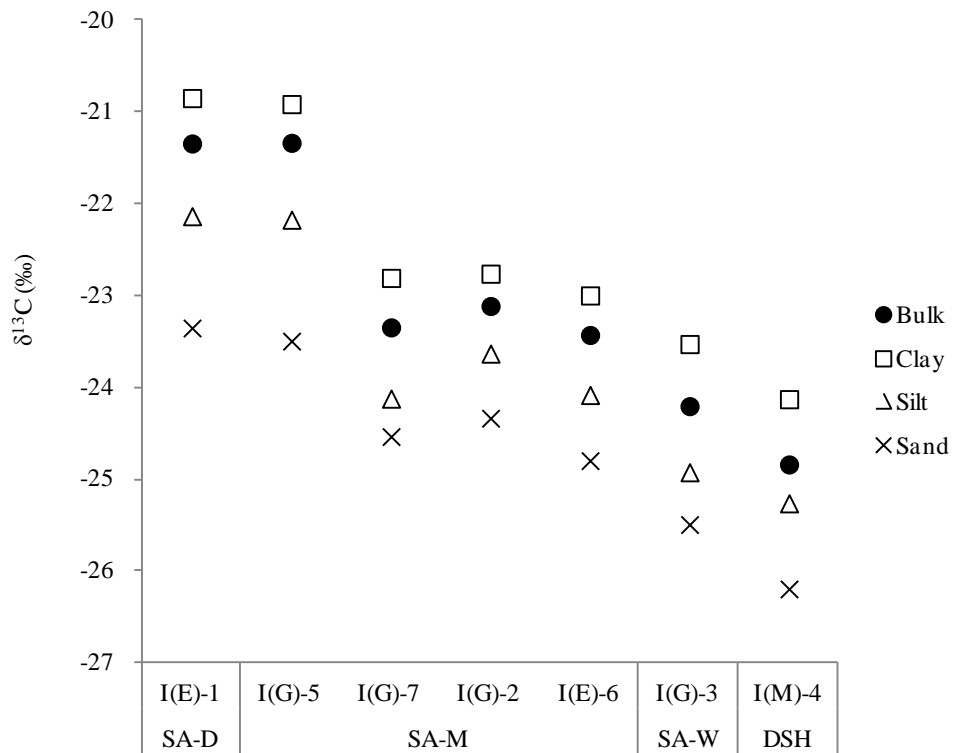


図 4-5-5 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{13}\text{C}$   
 [()内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, E: Grazing enclosure, M: Mowing pasture.]

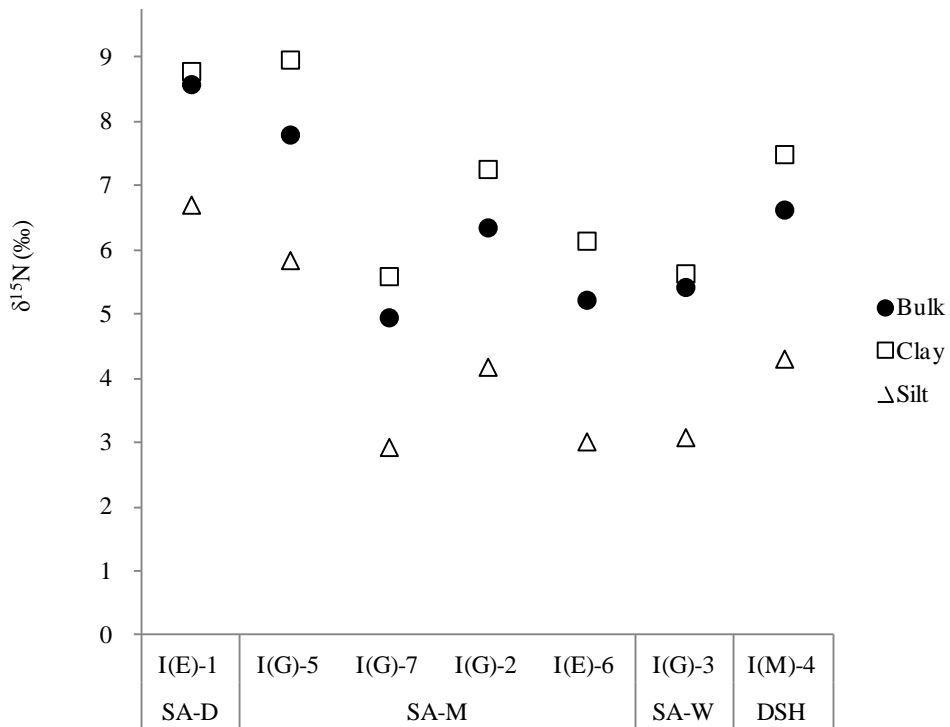


図 4-5-6 中国内蒙古自治区表層土壌の各粒径画分中の  $\delta^{15}\text{N}$   
 [()内は、土地利用形態。G: Grazing grassland, E: Grazing enclosure, M: Mowing pasture.]

## 第5章 総合考察

### 5-1. 気候と土壌型との関係

ユーラシアステップは気候と対応した成帯性土壌を形成しており、降水量の違いにより、土壌型が変化する(FAO, 2004)。ステップ地域に分布する代表的な土壌型として Phaeozem, Chernozem, Kastanozem が上げられ、ステップ地域より乾燥が進んだ地域では、Solonchaks, Solonez, Gypsisols, Durisols, Calcisols が出現する(FAO, 2001)。これら土壌型の大きな違いは、分類上識別層位として Mollic 層の有無であり、ステップ地域の土壌の特徴として Mollic 層と下層に出現する二次炭酸塩の集積もしくは Calcic 層が考えられる。Mollic 層は主に A 層の土色、構造、深度、有機物含量により、Calcic 層は炭酸塩含量と深度でそれぞれ定義される。これらの観点から各国・地域の土壌断面形態の結果を図 5-1 に示した。

まず、A 層の土色については、降水量の減少にともない A 層の土色が淡くなる傾向が示された。表層土壌の土色は母材が火山灰でない場合、土壌有機物の黒色によるものと考えられる。土壌有機炭素の供給源は、生物(ほとんどが植物)起源であり、外からの持ち込みがなければ、その場における過去から現在までの植生のリターや根の植物遺体に由来する(米山ら, 2002)。Sala et al. (1988)は、アメリカ合衆国内中央部に広がる草原地帯を対象として、正味の地上部生産量と気候との関係を研究した結果、生産量の地域変動は年降水量によって説明されることを示した。また、True et al. (2004) は、中国内蒙古自治区の草原において、24 年間にわたり植物バイオマス量の変動を調べた結果、植物バイオマス量の年変動は、1 月から 7 月の総降水量の変動に関係があることを明らかにした。これらの結果から、植物バイオマス量は降水量によって大きく規定されていることがわかる。本研究対象地においても同様に、年降水量と植物バイオマス量との関係は、 $r = 0.67$  ( $p < 0.01$ )と正の相関が認められた(表 5-1)。さらに、降水量が多い地域では、多量の有機物が植物から供給されることに加え、ステップ気候では、夏の乾燥と冬の凍結によって微生物活動が中断されるため有機物の無機化が妨げられ、腐植化と腐植集積作用が進行することが考えられる。土壌動物の活動は活発で、腐植と母材をよく混合するので、団粒構造の発達した厚い均質な黒色の A 層が形成される(大羽と永塚, 1988)。

また、比較的豊富な降水量および有機物の供給は土壌構造にも表れている。土壌有機物は無機粒子間を接着する働きをするため、土壌構造を発達させ、土壌中の水分保持や酸素供給の状況を良くし、地上植生の成長促進を促す。本研究の断面形態観察の結果においても、比較的降水量が多い地域において、A 層の構造に団粒構造の発達が確認された。一方、乾燥地域では、団粒構造の発達は確認されず、表層で土壌硬度が 25 以上を示すような地点も確認された。

一方、Calcic 層については、Mollic 層同様に、降水量の違いを反映した結果となった。土壌中での無機炭酸塩の集積深度は、乾燥するほど地表近くに出現する(Asano et al. 2009)。

以上の結果から、本研究対象地の土壌分類名は、主に Phaeozems, Chernozems, Kastanozems, Calcisols が多く認められ、FAO(2004)の気候による土壌型の違いを反映したと考えられた。

次に、地域別に土壌型の分布をみると、中国新疆ウイグル自治区とモンゴル中西部の比較的標高が高い地域が特徴的であった。これらの地域の土壌は、土壌断面観察の結果から礫含量が非常に多く、Regosols のような未熟土に分類された。これらの地域は降水量が少なく、年平均気温も低いため、風化作用が進まず、また、地表の露岩の状態から風食の影響を強く受けていることが示唆され、風食により細粒質物質が消失し、礫質の土壌が存在していると考えられた。

### 5-2. 気候と表層土壌の諸性質との関係および土壌有機炭素量の規定要因

#### 5-2-1. 気候と土壌諸性質の関係

ユーラシアステップでは、大陸内部という地理的条件によって生じる特徴的な気温、降水量、植生の総合的な影響を受け、気候に対応した成帯性土壌が形成される(大羽・永塚, 1988)。そのため、土壌の諸性質も気候によって変化する(Asano et al., 2007)。

気候因子と土壌理化学性との関係を表 5-1 に示した。年平均降水量は、pH、粘土含量および

砂含量に有意な関係が認められた。粒径組成については、降水量の減少にともない粗大になる傾向を示した。Jenny (1941)も、本研究と同様に、温帯地域での粘土含量と降水量との間に正の相関関係が認められることを示し、これは、降水量の増加にともなう風化作用が促進されるためであると述べた。一方、降水量の少ない地域では、植物被覆の減少のために風食に対する耐性が弱く、細粒質の損失を招くとされ、例えば、Su et al. (2004)は、乾燥および砂漠化による粒径組成の粗大化を示した。このことから、本研究対象地であるユーラシアステップでは、降水量の相違によって、風化作用の促進による粘土含量の増加および乾燥と砂漠化による粒径組成の粗大化が起こるため、粒径組成と降水量との間に相関が認められたと考えられた。

一方、年平均気温とは粘土、シルトおよび砂含量との間に関係が認められた。年平均気温と粘土含量との関係も、Jenny (1941)によって示されており、アメリカ東部地域において、様々な母材から生成した土壌で、年平均気温と粘土含量との関係を見出し、平均気温の増加にともなう風化作用の促進を示した。本研究対象地のユーラシアステップ土壌は、様々な母材から生成した土壌であるが、これと同様に、年平均気温と粘土含量、シルト含量および砂含量との関係が認められた。

粘土鉱物組成の結果は、スメクタイト、バーミキュライト、クロライト、2:1-2:1:1 中間種鉱物、雲母様鉱物(イライト)およびカオリン鉱物のような様々な鉱物種が含まれていることが明らかとなった。

一般的に、土壌中の温度や有効水分量は土壌断面内の化学風化の量や程度に強く影響を与えるので、土壌粘土鉱物の風化程度は気候要因と関係がある(Wilson, 1999)。雲母類→イライト→イライト/バーミキュライト混合層鉱物→バーミキュライト→カオリナイトの風化系列は多くの土壌で認められている。乾燥気候下のチェルノーゼムや栗色土では、交換性塩基に富むモンモリロナイトやイライトが優勢である(久馬, 1997)。

本研究の結果は、スメクタイト、カオリナイト、イライト、クロライト、バーミキュライトおよびそれらの中間体から構成され、2:1 型粘土鉱物が多いことを示した、中井・趙(1993)の中国新疆ウイグル自治区トルファン地区の粘土鉱物組成の結果と同様の結果を示した。また、カザフスタン北東部および南部の粘土鉱物組成について分析した舟川・小崎(2005)は、カザフスタン南部土壌ではスメクタイトに加えて雲母様鉱物(イライト)およびカオリン鉱物が主要粘土鉱物となっていること、同様に北部においても膨潤性 2:1 型鉱物に富んでいることが示した。しかしながら、本研究の結果では、ユーラシアステップにおける土壌の粘土鉱物組成は 5 つのグループに大別され、各々のグループの組成的特徴と気候との明らかな対応関係は認められなかった。この点について、中井・趙(1993)は、中国新疆ウイグル自治区トルファン地区と同自治区のタクスタン地区では、優勢する鉱物種がトルファン地区とは異なることを示し、母材の相違に起因する可能性を指摘した。このことから、本研究結果の差異は、調査地概況において述べたように、狭い地理的範囲においても土壌の母材が異なることが、粘土鉱物組成に影響を与えているものと考えた。そのため、ウクライナでは、レス母材の土壌が広く分布している (FAO/Unesco, 1978)ように、ウクライナ土壌でのみ地域内での差異は認められず、この地域に特有の特徴を示していると考えられた。

## 5-2-2. 土壌有機炭素量の規定要因

### 5-2-2-1. 気候および植物バイオマス量と土壌有機炭素量との関係

上記のように、草原地帯の植物バイオマス量は年降水量によって規定され、土壌有機炭素は植生のリターや根の植物遺体に由来する(Sala et al., 1988; True et al., 2004; 米山ら, 2002)。本研究対象地域においても、植物バイオマス量と年降水量および有機炭素量の間に有意な正の相関が認められた( $r = 0.66, 0.71, p < 0.01$ , 表 5-1)。同時に、年降水量と土壌有機炭素量の間にも  $r = 0.73$  ( $p < 0.01$ , 表 5-1)と有意な正の相関が認められたことから、ユーラシアステップでは、年降水量が多い地点ほど植物バイオマス量が多くなり、結果として、土壌有機炭素量も多くなると考えられた。

一方、年平均気温は、Nichols (1984)や Alvarez and Lavado (1998)の結果と同様に、土壌有機炭

素量との間には明瞭な関係は認められなかった( $r = 0.26$ , 表 5-1)。

#### 5-2-2-2. 土壌有機炭素量に及ぼす粘土含量の影響および他大陸の草原地域との比較

一般に、他の要因が同じ場合、土壌有機炭素量は粘土含量に比例して増加する。これは、粘土粒子が植物の成長に必要な水分や養分を保持すると同時に、土壌有機物と結合することで微生物による分解を抑制し、安定に存在するためと考えられている(Anderson, 1995)。さらに、Jenny (1941)をはじめとして、気候系列下においても、有機炭素量と粘土含量との間に正の相関関係があることが世界中の草原において明らかにされてきた(Nichols, 1984; Alvarez and Lavado, 1998; Bravo et al., 2007; Dalmolin et al., 2006)。本研究においても土壌有機炭素量は、粘土含量との間に有意な正の相関を示した( $r = 0.72$ ,  $p < 0.01$ , 表 5-1)。このことから、本研究で対象としたユーラシアステップ土壌においても、土壌有機炭素量に対して、粘土含量が重要な働きを果たしているものと考えられた。

選択溶解法の結果から、 $\text{Fe}_0$ ,  $\text{Al}_0$  量は、それぞれ、0.30-2.19 (g/kg)、0.34-2.18 (g/kg)の範囲を示し、有機炭素量との間に正の相関( $r = 0.64, 0.82$ ,  $p < 0.01$ , 表 5-1)が認められ、土壌有機物の集積に関与していることが考えられた。一方、 $\text{Ca}_p$ 量は0.90-8.00 (g/kg)と $\text{Fe}_0$ ,  $\text{Al}_0$ 量に比べて多く、有機炭素量との関係も認められた( $r = 0.65$ ,  $p < 0.01$ , 表 5-1)。以上のことから、ユーラシアステップ土壌中の土壌有機物蓄積量には粘土含量が大きく関与していること、さらに、Ca との関係性が強いが、活性 Fe, Al も少量ながら関係している可能性が示唆された。

ここで、草原の表層土壌中の有機炭素量を規定している一つである粘土含量との関係について、本研究で用いた地点がユーラシアステップの傾向を明確に表しているか、また他大陸の草原地域との違いを検証した。

まず、ユーラシアステップ内の他の地域で行われた結果(舟川と小崎, 2005; Funakawa et al., 2006; Kalinina et al., 2011; Tani et al., 2012)と比較した結果、ユーラシアステップの他の地域においても同様の結果を示すことが確認された(図 5-2)。しかし、森林、森林と隣接した草原、森林ステップおよび降水量が多い地点(Funakawa et al. (2006)の CH, 舟川・小崎 (2005)の地点 1, 2, 8, 9, 10, 11 と Kalinina et al. (2011)の native chernozem)と本研究調査地点の K-1 では、ステップの回帰式よりも土壌有機炭素量が明らかに高い値を示した。本研究調査地の K-1 については、年降水量が 621mm と本研究調査地の中で最も高く、Cheng and Nakamura (2007)によると、この地域の植生はカザフスタン東部の他の草原地域とは明確に異なり、モンゴルの湿潤草原と似ていると述べていることから、森林ステップまたは森林ステップに近い地点であると考えられた。Six et al. (2002)は、粘土+シルト含量と粘土+シルト粒子に結合している土壌有機炭素量との関係について、森林土壌での回帰式が草原土壌よりも高くなることを示した。このことから、植生による影響も加味する必要があると考えられた。そこで、森林および森林ステップ土壌を除いた既存文献のデータを含めたユーラシアステップの土壌有機炭素量と粘土含量の回帰分析を行った結果、有機炭素量と粘土含量の関係は次式で表された。

$$\text{OC (g kg}^{-1}\text{)} = 0.64 \times \text{Clay (\%)} + 4.10 \quad (1)$$

ここで、OC:有機炭素量, Clay:粘土含量である( $r = 0.79$ ,  $n = 61$ ,  $p < 0.01$ )。なお、(1)式では本研究調査地のみでとった関係式とも有意な差は認められなかった。以上のことから、本研究で得られた土壌有機炭素量と粘土含量の関係は、ユーラシアステップの傾向を正確に示していると考えられた。

次に、上記で得られたユーラシアステップの土壌有機炭素量と粘土含量の関係を、世界の他の草原地帯、すなわち、プレーリー南部(Nichols, 1984)、パンパ半乾燥-乾燥草原(Bravo et al., 2007)およびブラジル亜熱帯草原(Dalmolin et al., 2006)と比較した。その結果、高温乾燥気候のパンパ半乾燥-乾燥草原よりも有意に土壌有機炭素量が高いことが示された( $p < 0.05$ , 図 5-3)。これは、少ない降水量と高い気温が植物の成長に好ましくなく、土壌への炭素供給が制限されるため(Hassink, 1997)、同時に、土性および年降水量が同じ場合、年平均気温の増加にともない土壌有機物分解量が増加するため(Burke et al., 1989)、高温乾燥気候のパンパ半乾燥-乾燥草原で土壌有機炭素量が低くなったと考えられた。一方、ユーラシアステップとプレーリー南部およびブ

ラジル亜熱帯草原との間には、回帰式に有意な差は認められなかった。しかし、ユーラシアステップでは、同じ粘土含量に対して土壌有機炭素量が高くなる傾向が認められた。角野(2009)は、北米大陸とユーラシア大陸の Mollisols の土壌有機物量について、冬の低温と夏の乾燥のため、ユーラシア大陸の方が北米大陸より多くなることを示した。本研究結果でも同様に、高温湿潤なブラジル亜熱帯草原(年平均気温: 15.2°C~18.4°C, 年降水量: 1700mm~1750 mm)および高温半乾燥から湿潤なプレーリー南部(年平均気温: 14°C~23.3°C, 年降水量: 300~1140mm)と比較して、寒冷乾燥のユーラシアステップ(年平均気温: -4.5°C~8.2°C, 年降水量: 118 mm~621 mm)では、気候条件の影響により土壌有機炭素量が高い傾向になったと示唆された。

### 5-3. 気候と表層土壌中の土壌有機炭素および全窒素の存在形態およびその動態の関係

ユーラシアステップ表層土壌の粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量、 $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$  と気候因子との関係を表 5-2 に示した。

一般的に、土壌有機物を粒径サイズごとに分画した場合、シルト画分中で最も有機炭素量が多くなる研究例もあるが、多くの場合、粘土画分中に最も多く、続いてシルト画分、砂画分となる(Christensen, 1992)。本研究においても、多くの試料において粘土画分で最も高い値を示した。Kahle et al. (2002)は、ドイツの Chernozem から Luvisol への生成系列において、粒径別画分中の有機炭素量について、粘土と細シルト画分に 68-82%含まれることを明らかにしたが、本研究においても、粘土+シルト画分中では、78.4 - 105.5%、74.3 - 108.5%と全有機炭素量および全窒素量中の 70%以上を占めていることが示され、細粒質物質の重要性が示された。

有機炭素量の各粒径画分への存在割合は、植生によって異なることが報告されており、O 層の発達している森林土壌では、軽い比重の植物残渣が多いため、砂画分中の割合が多くなる。しかしながら、草原では、リター量が多くないため、粘土およびシルト画分中の割合が多くなる(Clemente et al., 2011)。本研究の K-1 では、上で述べたように、植生が森林ステップに近い場所であり、粒径画分中の有機炭素量の割合をみると、粘土画分中には 47.2%と比較的に少ない値であった。

C/N 比は、多くの地点において、C/N 比は粒径サイズが小さくなるほど、小さくなる傾向にあった。砂画分中の形態は未分解もしくは分解程度の低い植物体で主に構成されているが、シルト画分や粘土画分では分解の進んだ有機物が存在している(Amelung et al., 1998)。画分間の C/N 比の変化は、有機物の分解程度の違いを示唆しており、細粒質画分中の有機物はより分解が進んでいると考えられた。この結果は、粒径分画試料を標高別に比較し、粗粒質画分から細粒質画分へと変化するにつれ、分解を受けやすい炭水化物が減少し、抵抗性のある物質が蓄積した  $^{13}\text{C}$ -NMR の結果とも一致した(Chen and Chiu, 2003)。

気候および植物はともに土壌有機炭素含量の変動を引き起こすと同時に、土壌中や粒径画分中の有機化合物の分布に影響を及ぼすと考えられている(Clemente et al., 2011)。本研究においても、降水量の減少にともない全ての画分中の有機炭素および全窒素量が減少した。また、C/N 比も降水量の減少で減少した。

土壌有機物の多くは粗砂画分として土壌中に入り、分解が進むにつれて細砂画分やシルト画分となり、細シルト画分や粘土画分に蓄積する(Kahle et al., 2002)。この粒子間の炭素動態が気候によって異なるかをみるために、粘土画分とシルト画分の  $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$  の差と気候因子との関係について示した(表 5-2)。 $\delta^{15}\text{N}$  の差は年降水量との間に正の相関があることが示された。しかしながら、 $\delta^{13}\text{C}$  では、この傾向は認められなかった。粘土画分とシルト画分の  $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$  の差について、図 5-4 に示すと、 $\delta^{15}\text{N}$  に比べて  $\delta^{13}\text{C}$  では、差が小さい。この結果は、Natlhoffer and Fry (1988)の結果とも一致し、有機物の分解過程で生じる同位体分別は  $\delta^{15}\text{N}$  の方がより明確に示される。このことから、地点間の差異が  $\delta^{15}\text{N}$  の方で明確に示されたのではないかと考えられた。

### 5-4. 土地利用形態の違いが表層土壌中の土壌有機炭素の量および存在割合に及ぼす影響

土地利用は土壌有機炭素量に影響を与える要因の一つである。草原での放牧や耕作による土壌有機炭素量への影響については、多くの既存研究が行われており、現在のみならず、過去の土地

利用履歴もまた、土壌有機炭素量に影響を与える(Kalinina et al., 2011; Nagano et al., 2012; Steffens et al., 2008; Zhao et al., 2005)。半乾燥地域( $0.2 < AI < 0.5$ )における土地利用別の表層土壌中の有機炭素量の比較を行った結果、放牧地、禁牧地および耕作放棄地の間に有意な差は認められなかった(図 5-5)。一方、保護区( $n = 1$ )では、他の土地利用履歴とは異なり明らかに高い値を示した。しかし、この地点(K-5)は、半乾燥地域内でも比較的年降水量が多く(322mm)、気候による影響を加味する必要があると考えられ、土地利用のみの影響を明確には示せなかった。

そこで、気候および粘土含量に差がなく、土地利用形態が異なる比較的地点間の距離が近い地点を各国・地域内から選定し、比較を行った結果を図 5-6 に示した。ウクライナおよびカザフスタンから耕作放棄年数の異なる地点をそれぞれ 3 地点(ウクライナの 1 地点は土性のみ異なる地点、カザフスタンの 1 地点は自然保護区)、中国新疆ウイグル自治区および内蒙古自治区からは放牧地および禁牧区をそれぞれ 1 地点ずつ選定し、比較した結果、全ての国・地域において、放牧排除および耕作放棄後の年数が長いほど、表層土壌中の有機炭素量の増加、特に粘土画分中の有機炭素量が増加することが示された。耕作放棄および放牧排除後の土壌有機物画分中の有機炭素量の変化について、Kalinina et al. (2011)は、ロシアの森林ステップにある耕作放棄地と自然草原において、耕作放棄年数が長い地点ほど、表層土壌(0-10cm)中の有機炭素量が増加すること、特に粘土画分中の有機炭素量の増加が大きいことを明らかにし、本研究においても同様の傾向が示された。しかし、He et al. (2009)は、中国の典型草原において、放牧排除年数が長いほど、表層土壌中(0-10cm)の有機炭素蓄積量が増加すると同時に、砂画分および粘土画分中の有機炭素蓄積量が増加し、特に砂画分中の増加量が大きいことを示した。これは、本研究では、全炭素量に占める砂画分中の有機炭素量が  $6.56 \pm 4.91\%$  であったのに対し、He et al. (2009)の研究では、30・40%と砂画分中の有機炭素量が多く、土壌性質の違いが表れたためであると考えられた。このように、耕作などの人為影響による土壌有機物の変化は耕作方法や土壌性質によって異なるが(Christensen, 1992)、本研究対象地では、耕作および放牧による影響からの回復には粘土画分中の有機炭素量の増加が重要であることが明らかとなった。

次に、Hassink(1997)により提唱された、人為利用の少ない地点の粘土およびシルト画分中の有機炭素量は粘土およびシルト粒子に吸着できる最大値に達していると仮定する **Protective capacity** と比較することで土地利用による影響を明らかにした(図 5-7)。

まず、本研究で得られた粘土+シルト含量(%)と粘土およびシルト画分中に含まれる有機炭素量の相関式を、Hassink (1997)による **Protective capacity** の式と共分散分析により比較した結果、有意な差は認められず、ユーラシアステップにおいても同様の傾向が示されることが明らかとなった。

湿潤地域および半乾燥地域(湿潤)では、いくつかの地点を除いて、**Protective capacity** 以上の値を示しているのに対し、半乾燥地域(典型)、半乾燥地域(乾燥)および乾燥地域では、**Protective capacity** 以下の値を示す地点が多く認められた。乾燥地域では、元々少ない降水量の上で成立している生態系であるため、外からの圧力が一度加わると、その影響は大きい。そのため、本研究結果についても、より乾燥している地域において、**Protective capacity** が低い値を示したと考えられた。

しかし、Hassink (1997)は、世界各国の草原土壌の値を用いて **Protective capacity** を作成したが、オーストラリアの乾燥地域の値のみ、**Protective capacity** の相関式から明らかに低くなることを示し、乾燥による影響によるものと述べた。本研究の結果においても乾燥のために **Protective capacity** が低くなったと考えられるが、本研究と Hassink (1997)で用いられたオーストラリアの気候条件を比較すると、オーストラリアの気候は、年降水量が 480-670mm、年平均気温が 11.7-20.5℃と、ユーラシアステップと比較して、年降水量が多く、高温であるため、より有機物分解が促進される環境にあると考えられる。土地利用履歴の影響を評価するためには、調査地点の選定と地点数の確保が今後の課題である。

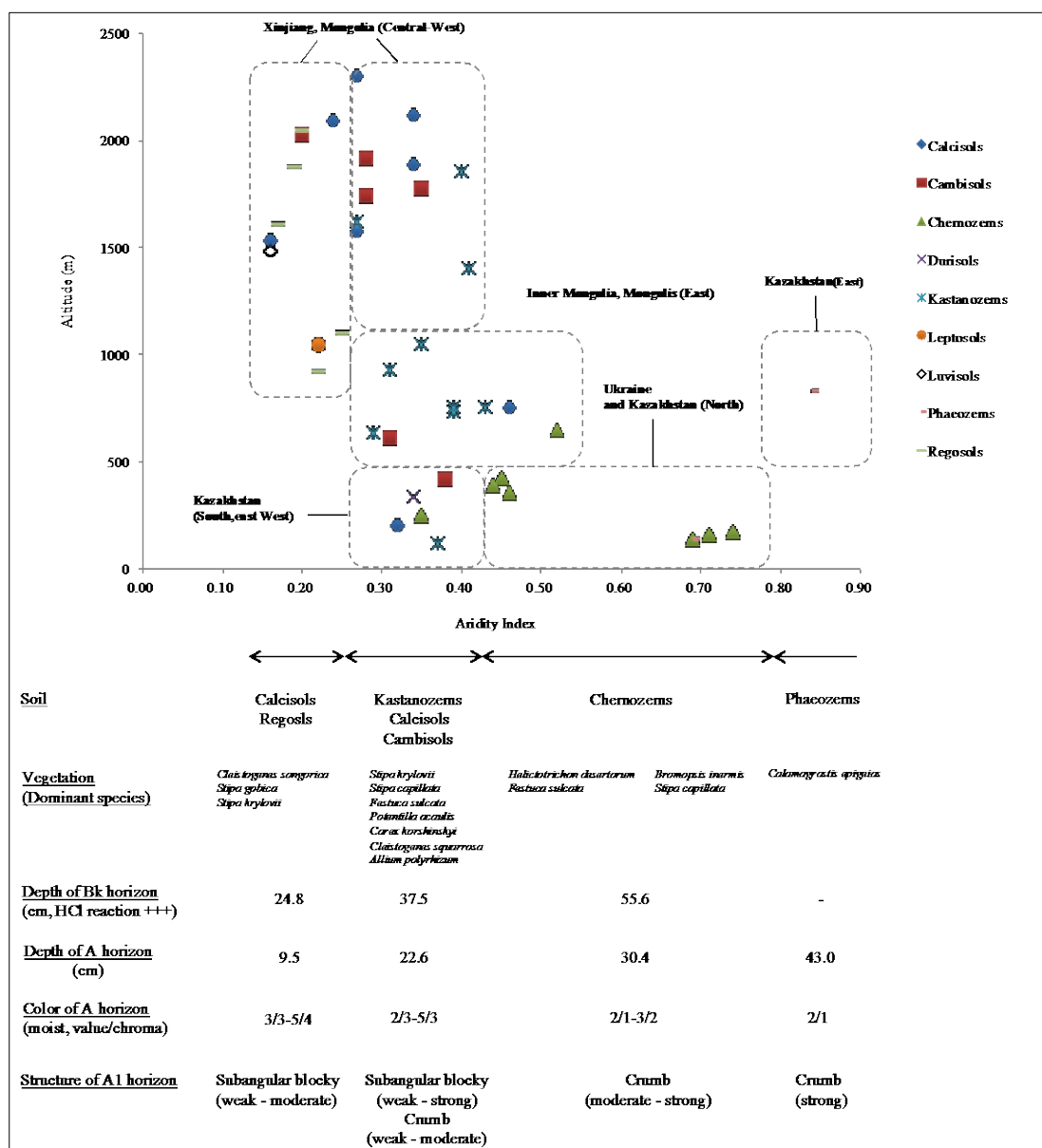


図 5-1 ユーラシアステップの土壌型と断面形態の特徴



表 5-1 気候因子と表層土壌諸性質との関係

	SOC <sup>#1</sup>	MAP <sup>#1</sup>	MAT <sup>#1</sup>	Alt <sup>#1</sup>	Altitude	Plant biomass <sup>#1,2</sup>	pH	TN	C/N	Carbonate	Clay	Silt	Sand	Fed-o	Fes	Ab	Fep	Ap	Cap
SOC	1	0.73 <sup>**</sup>	0.26 <sup>**</sup>	0.76 <sup>**</sup>	-0.42 <sup>**</sup>	0.71 <sup>**</sup>	-0.42 <sup>**</sup>	0.99 <sup>**</sup>	0.67 <sup>**</sup>	-0.07 <sup>**</sup>	0.72 <sup>**</sup>	0.40 <sup>**</sup>	-0.64 <sup>**</sup>	0.40 <sup>**</sup>	0.64 <sup>**</sup>	0.82 <sup>**</sup>	0.73 <sup>**</sup>	0.74 <sup>**</sup>	0.65 <sup>**</sup>
MAP		1	0.55 <sup>**</sup>	0.98 <sup>**</sup>	-0.64 <sup>**</sup>	0.66 <sup>**</sup>	-0.52 <sup>**</sup>	0.70 <sup>**</sup>	0.66 <sup>**</sup>	-0.12 <sup>**</sup>	0.62 <sup>**</sup>	0.25 <sup>**</sup>	-0.51 <sup>**</sup>	0.33 <sup>**</sup>	0.44 <sup>**</sup>	0.75 <sup>**</sup>	0.64 <sup>**</sup>	0.67 <sup>**</sup>	0.52 <sup>**</sup>
MAT			1	0.42 <sup>**</sup>	-0.51 <sup>**</sup>	0.49 <sup>**</sup>	0.02 <sup>**</sup>	0.23 <sup>**</sup>	0.41 <sup>**</sup>	0.22 <sup>**</sup>	0.47 <sup>**</sup>	0.56 <sup>**</sup>	-0.56 <sup>**</sup>	0.37 <sup>**</sup>	-0.15 <sup>**</sup>	0.37 <sup>**</sup>	0.04 <sup>**</sup>	0.04 <sup>**</sup>	0.47 <sup>**</sup>
Alt				1	-0.59 <sup>**</sup>	0.64 <sup>**</sup>	-0.54 <sup>**</sup>	0.74 <sup>**</sup>	0.63 <sup>**</sup>	-0.16 <sup>**</sup>	0.62 <sup>**</sup>	0.19 <sup>**</sup>	-0.48 <sup>**</sup>	0.29 <sup>**</sup>	0.50 <sup>**</sup>	0.77 <sup>**</sup>	0.67 <sup>**</sup>	0.70 <sup>**</sup>	0.53 <sup>**</sup>
Altitude					1	-0.54 <sup>**</sup>	0.39 <sup>**</sup>	-0.39 <sup>**</sup>	-0.51 <sup>**</sup>	0.02 <sup>**</sup>	-0.52 <sup>**</sup>	-0.16 <sup>**</sup>	0.41 <sup>**</sup>	-0.48 <sup>**</sup>	-0.17 <sup>**</sup>	-0.49 <sup>**</sup>	-0.36 <sup>**</sup>	-0.36 <sup>**</sup>	-0.40 <sup>**</sup>
Plant biomass						1	-0.18 <sup>**</sup>	0.67 <sup>**</sup>	0.64 <sup>**</sup>	0.19 <sup>**</sup>	0.62 <sup>**</sup>	0.44 <sup>**</sup>	-0.60 <sup>**</sup>	0.45 <sup>**</sup>	0.20 <sup>**</sup>	0.54 <sup>**</sup>	0.30 <sup>**</sup>	0.28 <sup>**</sup>	0.59 <sup>**</sup>
pH							1	-0.41 <sup>**</sup>	-0.43 <sup>**</sup>	0.30 <sup>*</sup>	-0.21 <sup>**</sup>	0.16 <sup>**</sup>	0.06 <sup>**</sup>	-0.30 <sup>**</sup>	-0.53 <sup>**</sup>	-0.34 <sup>*</sup>	-0.63 <sup>**</sup>	-0.59 <sup>**</sup>	0.11 <sup>**</sup>
TN								1	0.58 <sup>**</sup>	-0.05 <sup>**</sup>	0.73 <sup>**</sup>	0.40 <sup>**</sup>	-0.65 <sup>**</sup>	0.35 <sup>**</sup>	0.65 <sup>**</sup>	0.84 <sup>**</sup>	0.73 <sup>**</sup>	0.75 <sup>**</sup>	0.63 <sup>**</sup>
C/N									1	-0.16 <sup>**</sup>	0.40 <sup>**</sup>	0.26 <sup>**</sup>	-0.38 <sup>**</sup>	0.60 <sup>**</sup>	0.34 <sup>**</sup>	0.43 <sup>**</sup>	0.46 <sup>**</sup>	0.44 <sup>**</sup>	0.36 <sup>**</sup>
Carbonate										1	0.08 <sup>**</sup>	0.51 <sup>**</sup>	-0.29 <sup>**</sup>	-0.08 <sup>**</sup>	-0.30 <sup>*</sup>	-0.02 <sup>**</sup>	-0.22 <sup>**</sup>	-0.25 <sup>**</sup>	0.09 <sup>**</sup>
Clay											1	0.64 <sup>**</sup>	-0.93 <sup>**</sup>	0.48 <sup>**</sup>	0.36 <sup>**</sup>	0.86 <sup>**</sup>	0.33 <sup>**</sup>	0.37 <sup>**</sup>	0.76 <sup>**</sup>
Silt												1	-0.88 <sup>**</sup>	0.36 <sup>*</sup>	0.14 <sup>**</sup>	0.52 <sup>**</sup>	-0.01 <sup>**</sup>	0.52 <sup>**</sup>	0.76 <sup>**</sup>
Sand													1	-0.47 <sup>**</sup>	-0.29 <sup>**</sup>	-0.79 <sup>**</sup>	-0.21 <sup>**</sup>	-0.23 <sup>**</sup>	-0.72 <sup>**</sup>
Fed-o														1	0.24 <sup>**</sup>	0.28 <sup>**</sup>	0.23 <sup>**</sup>	0.14 <sup>**</sup>	0.30 <sup>**</sup>
Fes															1	0.64 <sup>**</sup>	0.71 <sup>**</sup>	0.71 <sup>**</sup>	0.23 <sup>**</sup>
Ab																1	0.56 <sup>**</sup>	0.63 <sup>**</sup>	0.76 <sup>**</sup>
Fep																	1	0.98 <sup>**</sup>	0.19 <sup>**</sup>
Ap																		1	0.25 <sup>**</sup>
Cap																			1

\* Significant at \*p<0.05, and \*\*p<0.01 levels

<sup>#1</sup> SOC: soil organic carbon, MAP: mean annual precipitation, MAT: mean annual temperature, Alt: aridity index, Plant biomass: aboveground plant biomass

<sup>#2</sup> Plant biomass data of U-2 in Ukraine sites were modified from Kawada et al. (2005), those of K-2 and K-3, M-2, I-1 to I-4 and M-3 to M-9 were from Hayashi et al. (2006), Kawada et al. (2008), Kawada et al. (2008) and Kawada et al. (2009), respectively.

Data in other sites were obtained by co-authors of this paper, but unpublished. □

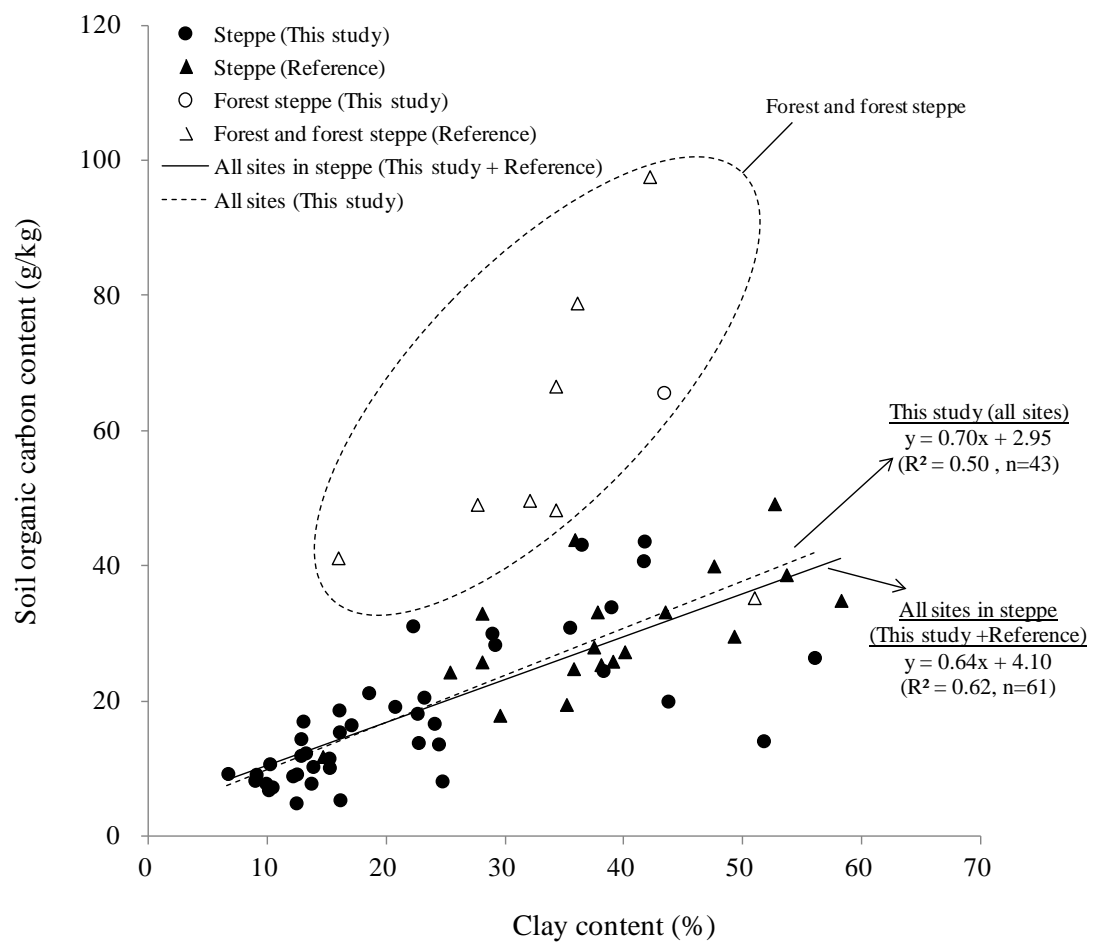


図 5-2 ユーラシアステップ土壌の有機炭素量と粘土含量との関係

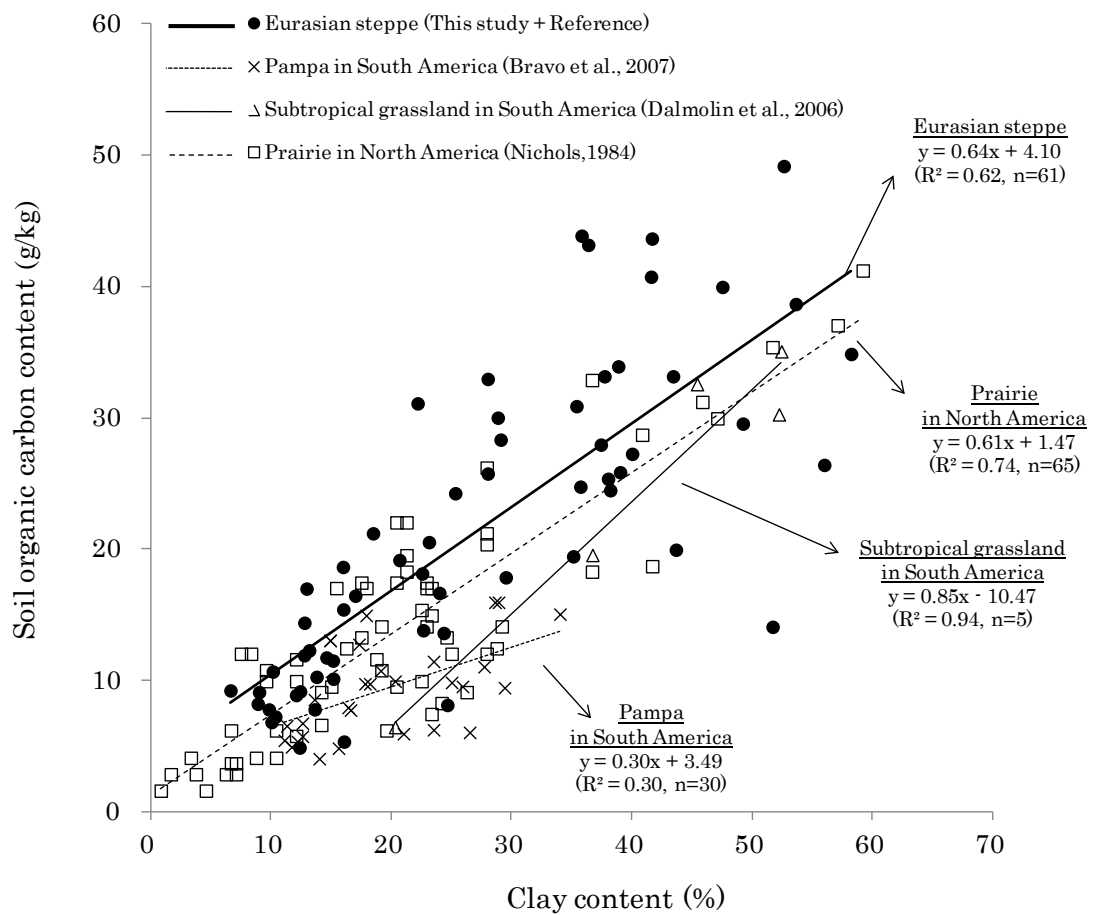


図 5-3 有機炭素量と粘土含量との関係のユーラシアステップ土壌と他草原との比較  
(Nichols (1984)の個別データは、文献中の図から判断)

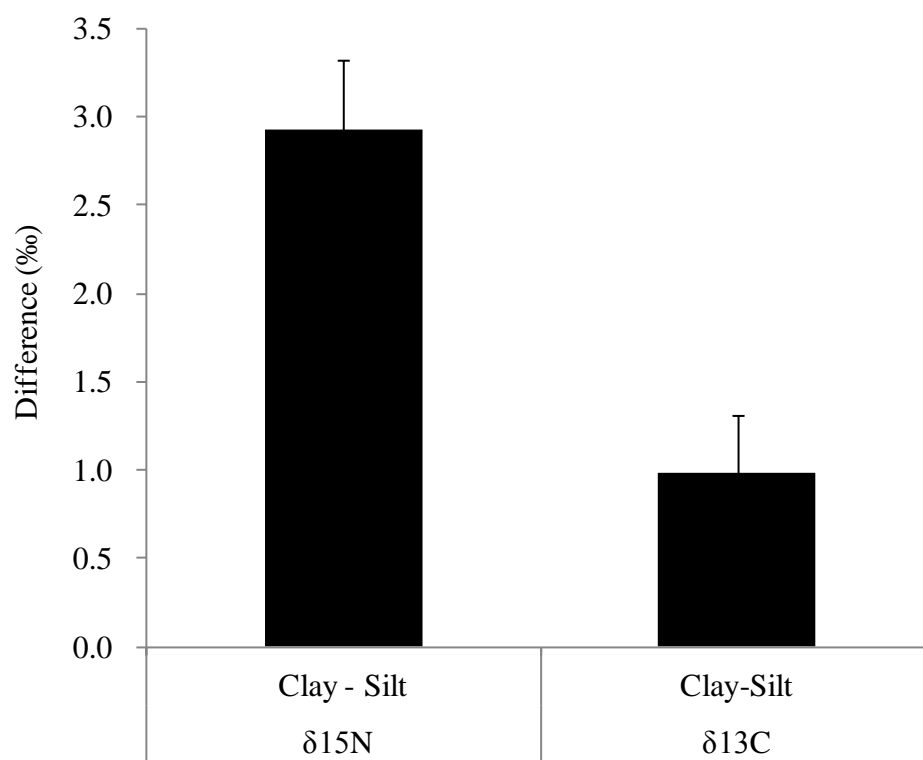


図 5-4 粘土画分とシルト画分中の  $\delta^{13}\text{C}$  および  $\delta^{15}\text{N}$  の差  
(Error bars are standard deviations)

表 5-2 粒径別画分中の有機炭素量、全窒素量および  $\delta^{13}\text{C}$ 、 $\delta^{15}\text{N}$  と気候因子との関係

		<i>Climate class<sup>#</sup></i>						<i>All sites</i>		
		And		SA1		SA2		SA3		Total
		(N = 4)	(N = 4)	(N = 12)	(N = 12)	(N = 14)	(N = 14)	(N = 7)	(N = 5)	
		AVE (S.D)	AVE (S.D)	AVE (S.D)	AVE (S.D)	AVE (S.D)	AVE (S.D)	AVE (S.D)	AVE (S.D)	Correlation coefficient <sup>*</sup>
										AI MAP MAT
<i>Content (g/kg in soil)</i>										
OC	Clay	4.36 (1.97)	5.68 (2.34)	8.02 (3.37)	15.37 (8.22)	18.21	20.64 (6.39)	9.93 (6.95)	0.79 <sup>**</sup>	0.75 <sup>**</sup>
	Silt	4.38 (2.60)	5.02 (2.21)	5.50 (1.86)	11.99 (5.68)	10.27	13.75 (7.03)	7.39 (4.94)	0.70 <sup>**</sup>	0.68 <sup>**</sup>
	Sand	0.60 (0.34)	1.01 (0.47)	0.57 (0.20)	1.80 (2.07)	0.74	2.23 (0.49)	1.09 (1.03)	0.46 <sup>**</sup>	0.54 <sup>**</sup>
TN	Clay	0.55 (0.21)	0.72 (0.29)	0.93 (0.37)	1.59 (0.73)	1.77	2.18 (0.63)	1.11 (0.67)	0.79 <sup>**</sup>	0.75 <sup>**</sup>
	Silt	0.44 (0.26)	0.53 (0.22)	0.46 (0.15)	0.88 (0.38)	0.77	1.01 (0.49)	0.62 (0.33)	0.61 <sup>**</sup>	0.58 <sup>**</sup>
	Sand	0.06 (0.03)	0.10 (0.05)	0.05 (0.02)	0.09 (0.05)	0.05	0.11 (0.04)	0.08 (0.04)	0.22	0.27
<i>Proportion (% in total OC, TN)</i>										
OC	Clay	48.08 (4.87)	48.03 (7.34)	55.72 (8.86)	52.30 (12.09)	60.61	57.47 (6.92)	52.63 (9.00)	0.30 <sup>*</sup>	0.26
	Silt	45.48 (3.53)	41.88 (4.31)	39.23 (4.44)	41.24 (7.58)	34.18	36.51 (3.56)	40.44 (5.26)	-0.33 <sup>*</sup>	-0.30
	Sand	6.49 (1.17)	8.97 (3.89)	4.46 (2.30)	7.31 (10.05)	2.47	6.48 (1.81)	6.56 (4.91)	-0.11	-0.01
TN	Clay	50.51 (3.59)	50.56 (5.66)	57.43 (8.09)	54.56 (9.92)	60.64	62.00 (8.40)	55.01 (8.16)	0.37 <sup>*</sup>	0.35 <sup>*</sup>
	Silt	38.19 (4.97)	36.91 (3.78)	29.93 (4.48)	30.42 (5.21)	26.34	27.35 (1.98)	32.34 (5.62)	-0.56	-0.51 <sup>**</sup>
	Sand	5.18 (0.93)	7.17 (3.79)	3.67 (2.26)	3.67 (2.92)	1.83	3.12 (0.97)	4.68 (3.08)	-0.40	-0.35 <sup>*</sup>
<i>Concentration (% in each fraction)</i>										
OC	Clay	3.42 (1.06)	3.29 (1.17)	4.61 (1.19)	5.30 (1.12)	6.10	5.48 (1.63)	4.38 (1.45)	0.54 <sup>**</sup>	0.50 <sup>**</sup>
	Silt	2.35 (0.76)	2.24 (1.04)	3.49 (0.96)	4.42 (1.13)	4.22	4.97 (2.34)	3.38 (1.51)	0.64 <sup>**</sup>	0.59 <sup>**</sup>
	Sand	0.09 (0.06)	0.24 (0.22)	0.10 (0.04)	0.47 (0.48)	0.17	0.82 (0.34)	0.28 (0.34)	0.63 <sup>**</sup>	0.68 <sup>**</sup>
TN	Clay	0.43 (0.10)	0.41 (0.13)	0.53 (0.13)	0.57 (0.09)	0.59	0.58 (0.16)	0.50 (0.14)	0.41 <sup>**</sup>	0.36 <sup>*</sup>
	Silt	0.24 (0.07)	0.23 (0.10)	0.29 (0.06)	0.33 (0.07)	0.32	0.37 (0.17)	0.28 (0.10)	0.51 <sup>**</sup>	0.43 <sup>**</sup>
	Sand	0.01 (0.01)	0.02 (0.02)	0.01 (0.00)	0.02 (0.01)	0.01	0.04 (0.02)	0.02 (0.01)	0.49 <sup>**</sup>	0.53 <sup>**</sup>
<i>C/N</i>										
Clay	Clay	7.78 (0.67)	7.88 (0.64)	8.67 (0.83)	9.31 (1.15)	10.30	9.42 (0.44)	8.60 (1.00)	0.60 <sup>**</sup>	0.59 <sup>**</sup>
	Silt	9.80 (1.01)	9.50 (1.24)	11.82 (1.24)	13.31 (1.43)	13.37	13.51 (0.41)	11.46 (1.95)	0.72 <sup>**</sup>	0.71 <sup>**</sup>
	Sand	10.26 (0.65)	10.87 (2.32)	11.99 (3.80)	17.24 (8.08)	13.89	21.42 (3.41)	13.51 (5.46)	0.65 <sup>**</sup>	0.72 <sup>**</sup>
<i>Stable isotope (‰)</i>										
$\delta^{13}\text{C}$	Bulk	-22.67 (1.64)	-23.13 (1.05)	-23.63 (1.11)	-24.44 (1.07)	-24.84	-25.39 (0.13)	-23.76 (1.30)	-0.62 <sup>**</sup>	-0.64 <sup>**</sup>
	Clay	-22.38 (1.45)	-22.91 (1.01)	-23.24 (1.03)	-24.26 (0.98)	-24.12	-24.96 (0.08)	-23.45 (1.22)	-0.62 <sup>**</sup>	-0.64 <sup>**</sup>
	Silt	-23.57 (1.27)	-23.83 (1.11)	-24.28 (1.01)	-25.06 (1.09)	-25.26	-25.98 (0.11)	-24.44 (1.22)	-0.61 <sup>**</sup>	-0.62 <sup>**</sup>
$\delta^{15}\text{N}$	Bulk	6.81 (1.33)	6.27 (1.55)	5.82 (1.00)	5.53 (2.70)	6.63	4.69 (0.60)	5.88 (1.57)	-0.35 <sup>*</sup>	-0.41 <sup>**</sup>
	Clay	7.67 (1.23)	7.43 (1.37)	6.70 (1.07)	6.40 (2.83)	7.50	5.94 (0.52)	6.87 (1.56)	-0.33 <sup>*</sup>	-0.38 <sup>*</sup>
	Silt	5.06 (1.30)	4.41 (1.45)	3.86 (0.98)	3.76 (2.55)	4.31	2.35 (0.58)	3.94 (1.56)	-0.44 <sup>**</sup>	-0.48 <sup>**</sup>
$\delta^{13}\text{C}$	Clay - Silt	1.19 (0.19)	0.92 (0.43)	1.04 (0.19)	0.80 (0.48)	1.13	1.02 (0.09)	0.98 (0.33)	-0.04	-0.07
	Clay - Sand	2.61 (0.24)	3.02 (0.34)	2.84 (0.22)	2.64 (0.32)	3.19	3.58 (0.30)	2.93 (0.39)	0.43 <sup>**</sup>	0.40 <sup>**</sup>

<sup>#</sup> Arid: AI(aridity index)<0.2, SA(semi-arid): 0.2<AI<0.3, SA2: 0.3<AI<0.5, DSH(dry sub-humid): 0.5<AI<0.65, Humid: AI>0.65.

<sup>\*</sup>, <sup>\*\*</sup>, p<0.05; <sup>\*\*\*</sup>, p<0.01

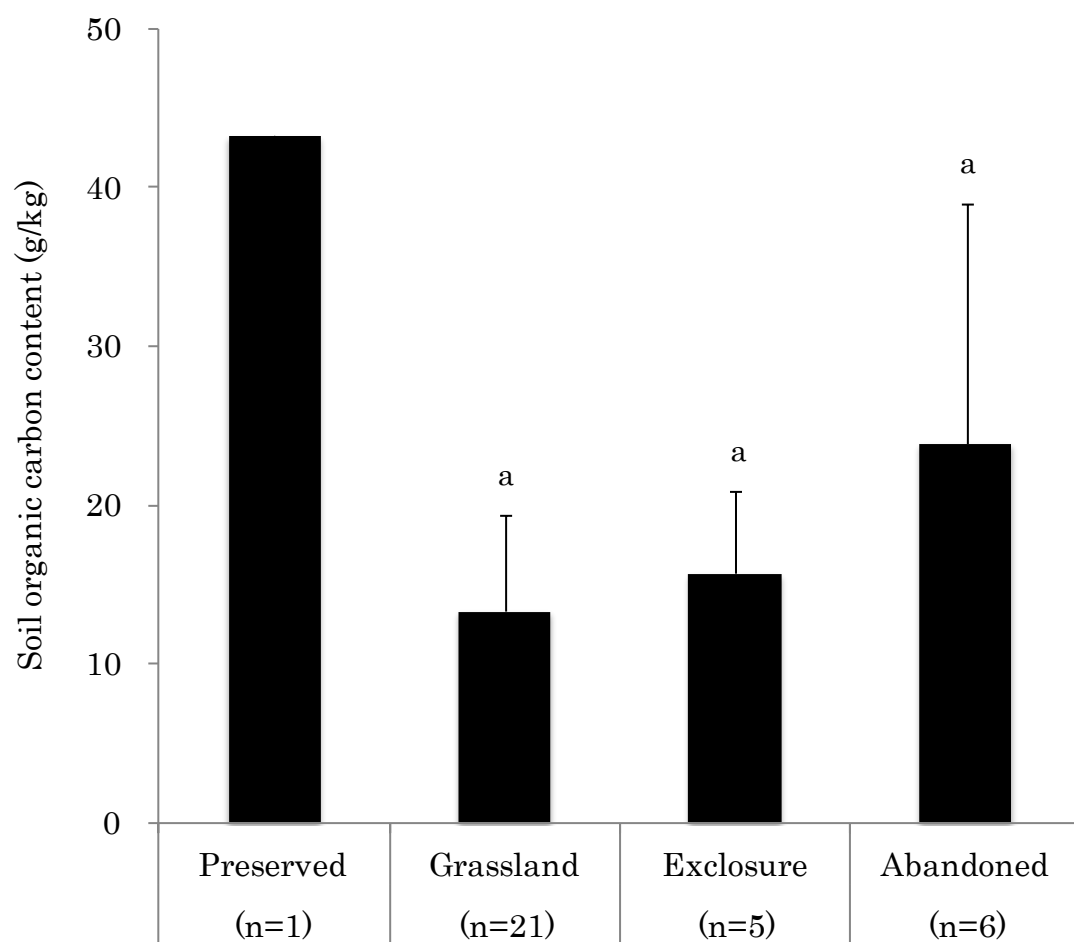


図 5-5 半乾燥地域( $0.2 < AI < 0.5$ )における土地利用履歴別の表層土壌中の有機炭素量の比較

(Vertical bars and different letters indicated standard deviation and significant difference ( $p < 0.05$ ).)

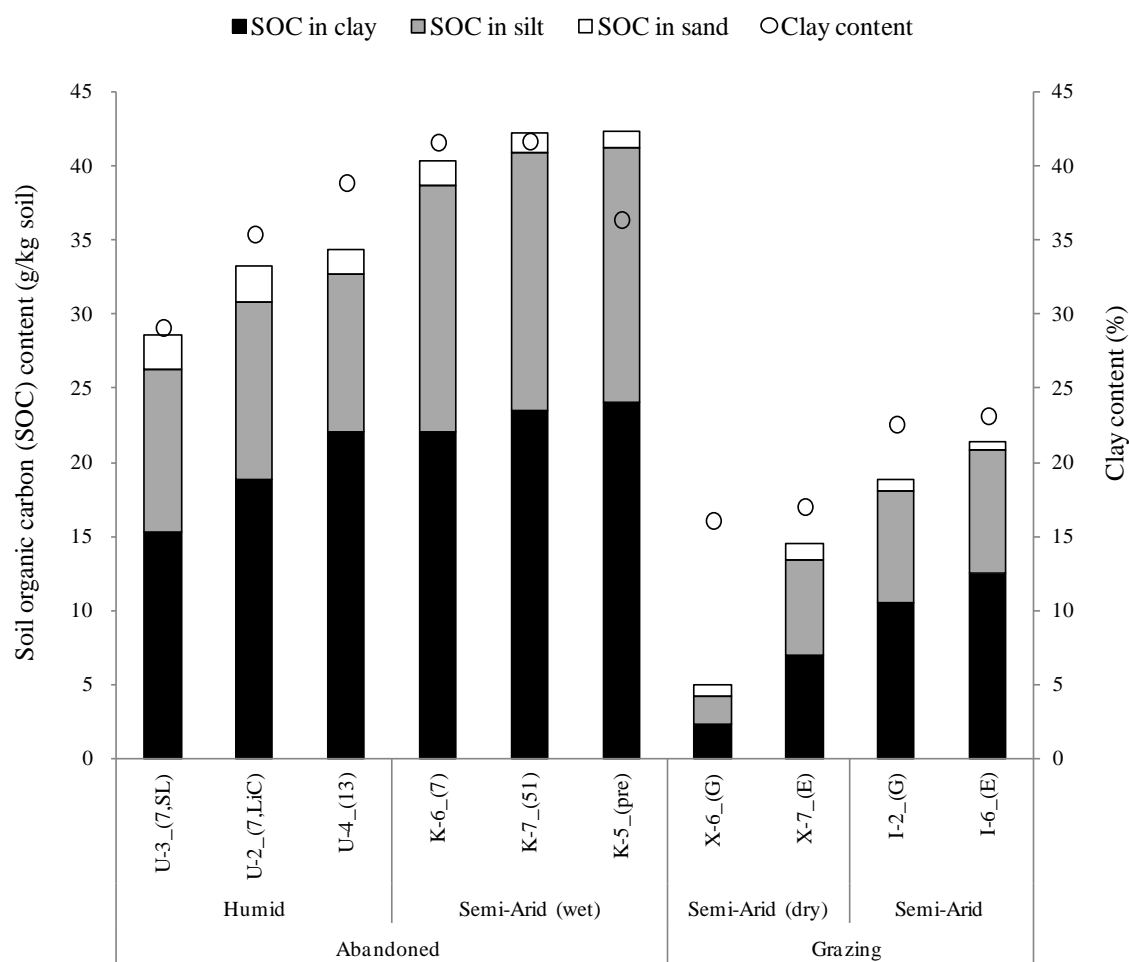


図 5-6 耕作放棄年数および放牧圧の異なる地点における各粒径画分中の有機炭素量の比較  
 (G, grazing: E, grazing exclosure: pre, preserved area: SL, sandy loam: LiC, light clay)  
 (The values given in parentheses are years after cultivation abandonment.)

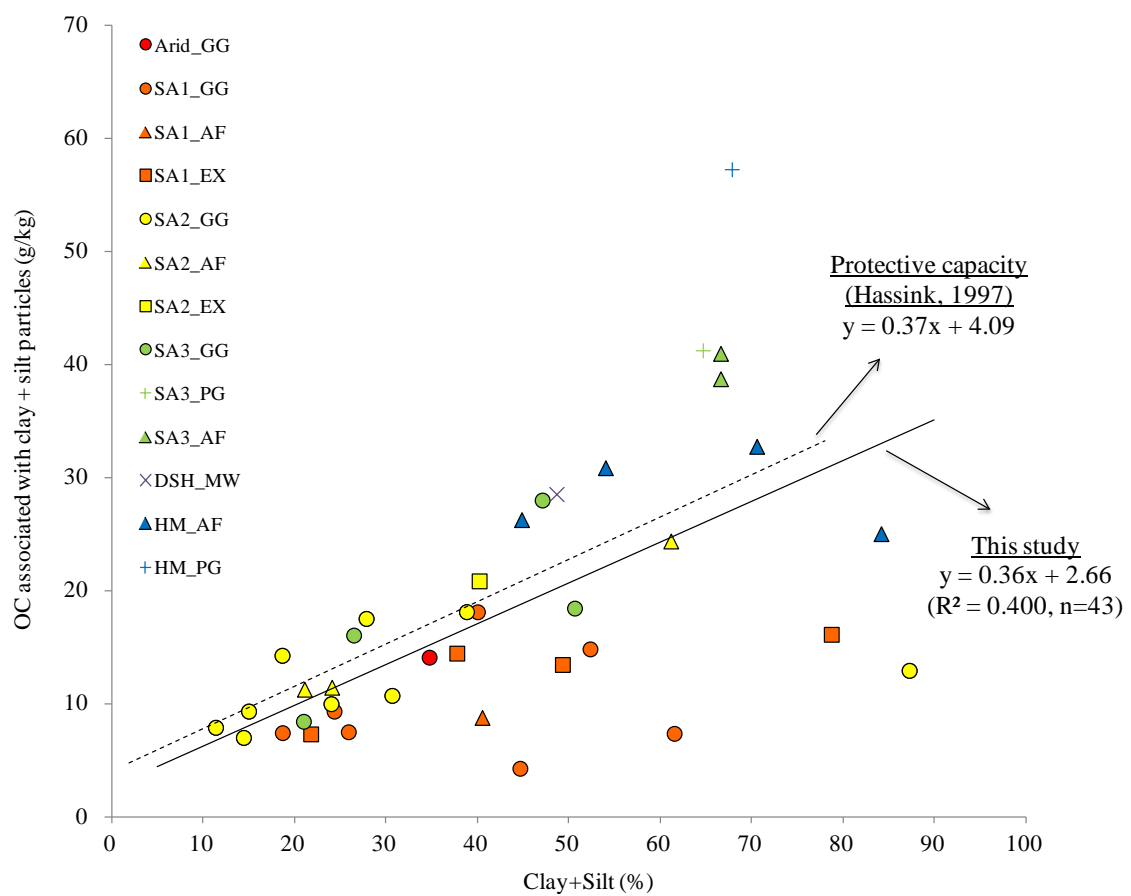


図 5-7 ユーラシアステップ表層土壌の Protective capacity

Climate class: SA: Semi-arid (1: dry, 2: moderate, 3: wet), DSH: Dry sub-humid, HM: Humid.

Land-use: GG: grazing grassland, AF: Abandoned field, EX: grazing exclosure, PG: Preserved grassland, MW: mowing pasture.



## 謝辞

本研究を行うにあたり、筑波大学生命環境科学研究科の田村憲司教授には、終始適切な御指導、御鞭撻を賜りました。ここに謝意を表します。

本論文の執筆にあたり、筑波大学生命環境科学研究科の上條隆志教授、清野達之准教授および山路恵子准教授には有益なご助言を賜りました。また、筑波大学の中村徹名誉教授にはユーラシア大陸ステップの広域調査を行う貴重な機会を提供していただきました。筑波大学の東照雄理事には土壌有機物の分析法を始め、研究に対する多くの考え方をご教授頂きました。

粘土鉱物の同定に関しては、国際農林水産業研究センターの八田珠郎博士にご助力を賜りました。X線回折の解析には、農業環境技術研究所の前島勇治博士に解析方法についてご教授いただきました。土壌有機炭素・全窒素量および安定同位体組成の測定に際しては、鳥取大学乾燥地研究センターの恒川篤史教授に測定の機会を与えていただきました。

現地調査の際には、茨城県自然博物館の小幡和男氏、蘭州大学草地農業科技学院の程云湘准教授、筑波大学の林一六名誉教授、筑波大学生命環境科学研究科の川田清和助教、筑波大学育林学・自然保護学研究室の現地調査を共にに行った方々に、大変お世話になりました。また、調査後、データの提供等ご協力をいただきました。本研究で用いた土壌試料は、筑波大学土壌環境化学研究室の山本陽介氏、多久和美樹氏、黒川巧氏、原田徹氏のご協力のもと得られました。さらに、中国大連民族学院環境・資源学院の烏云娜教授には、中国内蒙古自治区で新たな調査を行う機会を提供して頂きました。その他、モンゴル国立大学名誉教授 Tsagaanbandi Tsendeekhuu 博士を始め、現地の研究者やカウンターパートの方々には多くのご協力をして頂きました。

本研究をまとめるにあたって、農業環境技術研究所の高田祐介博士、和穎郎太博士、浅野眞希博士、森林総合研究所の藤井一至博士、酒井佳美博士、国際農林水産業研究センターの中村智史博士には貴重なご意見を賜りました。また、筑波大学土壌環境化学研究室の関係者の皆様には、多大なご助言、ご助力を賜りました。心から厚く御礼申し上げます。

修士課程から博士課程にかけてお世話になりました、森林総合研究所立地環境研究領域土壌資源研究室の志知幸治博士、土壌特性研究室の今矢明宏博士および関西支所支所長の吉永秀一郎博士、農業環境技術研究所土壌環境研究領域の木方展治博士、藤原英治博士、物質循環研究領域の江口定夫博士および農業環境インベントリーセンターの小原洋博士を始めとした各研究室の皆様には感謝申し上げます。また、測定のたびにお世話になりました鳥取大学乾燥地研究センターの留森英眞子様、財原大地様に心から厚く御礼申し上げます。

本研究の現地調査は、文部科学省科学研究費補助金 基盤研究(B)海外学術調査(15405042, 19405045)、中国国家自然科学基金(31170402, 31470504)および中国中央高校基本業務費(DC12010114)により行われたものである。また、分析の一部は、平成 22-23 年度、平成 24-25 年度鳥取大学乾燥地研究センター共同研究および平成 23 年度鳥取大学乾燥地研究センター共同研究(被災研究者支援)に基づき実施された。

## 引用文献

- Alvarez, R. and Lavado, R.S. 1998. Climate, organic matter and clay content relationships in the Pampa and Chaco soils, Argentina. *Geoderma*, 83: 127-141.
- Amelung, W., Flach, K.W. and Zech, W. 1997. Climatic effects on soil organic matter composition in the Great Plains. *Soil Science Society of America Journal*, 61: 115-123.
- Amelung, W., Zech, W., Zhang, X., Follett, R.F., Tiessen, H., Knox, E. and Flach, K.-W. 1998. Carbon, Nitrogen, and Sulfur Pools in Particle-Size Fractions as Influenced by Climate. *Soil Science Society of America Journal*, 62: 172-181.
- Amrhein, C. and Suarez, D.L. 1990. Procedure for determining sodium-calcium selectivity in calcareous and gypsiferous soils. *Soil Science Society of America Journal*, 54: 999-1007.
- Anderson, D.W. 1995. Decomposition of organic matter and carbon emissions from soils. In R. Lal, J. Kimble, E. Levine and B.A. Stewart Eds. *Soils and Global Change*, pp. 165-175, Lewis Publishers, Boca Raton.
- Archibold, O.W. 1995. Temperate grasslands. In O.W. Archibold Eds. *Ecology of World Vegetation*, pp. 204-237, Chapman & Hall, London.
- Asano M., Tamura, K., Kawada, K. and Higashi, T. 2007. Morphological and physico-chemical characteristics of soils in a steppe region of the Kherlen River basin, Mongolia. *Journal of Hydrology*, 333: 100-108.
- Basile-Doelsch, I., Amundson, R., Stone, W.E.E., Borschneck, D., Bottero, J.Y., Moustier, S., Masin, F. and Colin, F. 2007. Mineral control of carbon pools in a volcanic soil horizon. *Geoderma*, 137: 477-489.
- Basile-Doelsch, I., Brun, T., Borschneck, D., Masion, A., Marol, C. and Balesdent, J. 2009. Effect of landuse on organic matter stabilized in organomineral complexes: A study combining density fractionation, mineralogy and  $\delta^{13}\text{C}$ . *Geoderma*, 151:77-86.
- Baldock, J.A. and Skjemstad, J.O. 2000. Role of the soil matrix and minerals in protecting natural organic materials against biological attack. *Organic Geochemistry*, 31: 697-710.
- Boutton, T. W. 1996. Stable carbon isotope ratios of soil organic matter and their use as indicators of vegetation and climate change. In T.W. Boutton and S.I. Yamasaki Eds. *Mass spectrometry of soils*, pp. 47-82, Marcel Dekker, New York.
- Bravo, O., Blanco, M.C. and Amiotti, N. 2007. Control factors in the segregation of Mollisols and Aridisols of the semiarid-arid transition of Argentina. *Catena*, 70: 220-228.
- Burke, I.C., Yonker, C.M., Parton, W.J., Cole, C.V., Flach, K. and Schimel, D.S. 1989. Texture, climate, and cultivation effects on soil organic matter content in U.S. grassland soils. *Soil Science Society of America Journal*, 53: 800-805.
- Caravaca, F., Lax, A. and Albaladejo, J. 1999. Organic matter, nutrients contents and cation exchange capacity in fine fractions from semiarid calcareous soils. *Geoderma*, 93: 161-176.
- Cheng, Y. and Nakamura, T. 2006. Phytosociological study on steppe vegetation in the vicinity of Kharkiv, Ukraine. *Grassland Science*, 52: 61-71.
- Cheng, Y. and Nakamura, T. 2007. Phytosociological study of steppe vegetation in east Kazakhstan. *Grassland Science*, 53: 172-180.
- Cheng, Y., Tsendeekhuu, T., Narantuya, N. and Nakamura, T. 2008. Phytosociological study of steppe vegetation in Mongolia. *Grassland Science*, 54: 107-116.
- Christensen, B.T. 1992. Physical fractionation of soils and organic matter in primary particle size and density separates. In B.A. Stewart Eds. *Advances in Soil Science*, volume 20, pp. 1-90, Springer-Verlag, New York.
- Christensen, B.T. 1996. Matching measurable soil organic matter fractions with conceptual pools in simulation models of carbon turnover: Revision of model structure. In D.S. Powlson, P. Smith and J.U. Smith Eds. *Evaluation of soil organic matter models using existing long-term datasets*, pp. 143-159. Springer-Verlag, Berlin.
- Christensen, B.T. 2001. Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. *European Journal of Soil Science*, 52: 345-353.
- Clemente, J.S., Simpson, A.J. and Simpson, M.J. 2011. Association of specific organic matter

- compounds in size fractions of soils under different environmental controls. *Organic Geochemistry*, 42: 1169-1180.
- Compiling Committee of Control of Grassland Pests in Hulunbeier, China. 2005. Control of Grassland Pests in Hulunbeier, China, p1.
- Dalmolin, R.S.D., Goncalves, C.N., Dick, D.P., Knicker, H., Klamt, E. and Kögel-Knabner, I. 2006. Organic matter characteristics and distribution in Ferralsol profiles of a climosequence in southern Brazil. *European Journal of Soil Science*, 57: 644-654.
- Desjardins, T., Folgarait, P.J., Pando-Bahuon, A., Girardin, C. and Lavelle, P. 2006. Soil organic matter dynamics along a rice chronosequence in north-eastern Argentina: Evidence from natural  $^{13}\text{C}$  abundance and particle size fractionation. *Soil Biology and Biochemistry*, 38:2753-2761.
- 土壤環境分析法編集委員会 1997. 土壤環境分析法, 博友社, 東京.
- 土壤標準分析・測定法委員会 1986. 有機炭素, 土壤標準分析・測定法, pp.77-94, 博友社, 東京.
- FAO. 2004. Carbon sequestration in dryland soils. World soil resources reports 102. FAO, Rome.
- FAO/Unesco. 1978. Soil Map of the World. Volume VIII. North and Central Asia. Unesco, Paris.
- FAO/Unesco. 1981. Soil Map of the World. Volume V. Europe. Unesco, Paris.
- Feller, C. and Beare, M.H. 1997. Physical control of soil organic matter dynamics in the tropics. *Geoderma*, 79: 69-116.
- 舟川晋也・小崎隆 2005. カザフスタン・ステップ地帯に分布する土壌の特性. ペドロジスト, 49: 52-66.
- Funakawa, S., Nishiyama, Y., Kato, A., Kadono, A. and Kosaki, T. 2006. Temperature and moisture dependence of organic matter decomposition in soils from different environments, with special reference to the contribution of light- and heavy-fraction C. *Pedologist*, 50: 29-45.
- 原田徹 2010. 中国新疆ウイグル自治区に分布するステップ土壌の特徴. 平成 21 年度 卒業研究要旨集, p86. 筑波大学第二学群・生命環境学群生物資源学類.
- Hassink, J. 1997. The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles. *Plant and Soil*, 191: 77-87.
- Hayashi, I., Kawada, K., Akimova, A. and Nakamura, T. 2006. Floristic composition and plant biomass of the grasslands in the vicinity of Pavlodar, Kazakhstan. *Grassland Science*, 52: 141-146.
- Hayashi, I., Kawada, K., Kurosu, M., Batjargal, A., Tsendeekhuu, T. and Nakamura, T. 2008. Grazing Effects on Floristic Composition and Above Ground Plant Biomass of the Grasslands in the Northeastern Mongolian Steppes. *Journal of Ecology and Field Biology*, 31: 115-123.
- He, N., Wu, L., Wang, Y. and Han, X. 2009. Changes in carbon and nitrogen in soil particle-size fractions along a grassland restoration chronosequence in northern China. *Geoderma*, 150:302-308.
- Hijmans, R.J., Cameron, S.E., Parra, J.L., Jones, P.G. and Jarvis, A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, 25: 1965-1978.
- Huang, C., Zhao, W., Liu, F., Tan, W. and Koopal, L.K. 2011. Environmental significance of mineral weathering and pedogenesis of loess on the southernmost Loess Plateau, China. *Geoderma*, 163: 219-226.
- IPCC. 2000. Summary for policymakers. In R.T. Watson, I.R. Noble, B. Bolin, N.H. Ravindranath, D.J. Verardo and D.J. Dokken Eds. Land use, land-use change, and forestry, pp.1-20, Cambridge University Press, New York.
- International Soil Reference and Information Centre. 2002. Carbonate, In L.P. van Reeuwijk Eds. Procedure for soil analysis, sixth edition, pp.7-1,7-2, International Soil Reference and Information Centre, Wageningen.
- IUSS Working Group WRB. 2006. World reference base for soil resources, 2<sup>nd</sup> Ed. World Soil Resources Reports, 103, FAO, Rome.

- Jenny, H. 1941. Factors of soil formation: a system of quantitative pedology. McGraw-Hill Book Co., New York.
- Kadono, A., Funakawa, S. and Kosaki, T. 2008. Factors controlling mineralization of soil organic matter in the Eurasian steppe. *Soil Biology and Biochemistry*, 40:947-955.
- Kahle, M., Kleber, M. and Jahn, R. 2002. Carbon storage in loess derived surface soils from central Germany: Influence of mineral phase variables. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 165: 141-149.
- Kalinina, O., Krause, S.-E., Goryachkin, S.V., Karavaeva, N.A., Lyuri, D.I. and Giani, L. 2011. Self-restoration of post-agrogenic chernozems of Russia: Soil development, carbon stocks, and dynamics of carbon pools. *Geoderma*, 162: 196-206.
- Kawada, K., Vovk, A.G., Filatova, O.V., Araki, M., Nakamura, T. and Hayashi, I. 2005. Floristic composition and plant biomass production of steppe communities in the vicinity of Kharkiv, Ukraine. *Grassland Science*, 51: 205-213.
- Kawada, K., Kurosu, M., Cheng, Y., Tsendeehuu, T., Wuyunna, Nakamura, T. and Hayashi, I. 2008. Floristic Composition, Grazing Effects and Above-ground Plant Biomass in the Hulunbeier Grasslands of Inner Mongolia, China. *Journal of Ecology and Field Biology*, 31: 297-307.
- Kawada, K., Kurokawa, T., Tsunoda, K., Tsendeehuu, T. and Nakamura, T. 2009. Plant community structure in the Midwestern Mongolian steppe. In T. Nakamura and K. Suzuki Eds. *Ecological Studies on the Steppe Vegetation in Midwestern Mongolia*, pp.29-42, University of Tsukuba, Tsukuba.
- 木村玲二 2007. 乾燥地の定義と分布. 恒川篤史編. 21世紀の乾燥地科学-人と自然の持続性-, pp2-5, 古今書院, 東京.
- Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E., Marschner, B. and Lützow, M.V. 2008. An integrative approach of organic matter stabilization in temperate soils: Linking chemistry, physics, and biology. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171: 5-13.
- 小泉博・大黒俊哉・鞠子茂 2000. 温帯草原の環境と生態. 小泉博・大黒俊哉・鞠子茂著. 草原・砂漠の生態, pp.46-76, 共立出版, 東京.
- Krull, E., Baldock, J.A. and Skjemstad, J.O. 2003. Importance of mechanisms and processes of the stabilization of soil organic matter for modeling carbon turnover. *Functional Plant Biology*, 30: 207-222.
- 黒川巧 2009. カザフスタン共和国ステップにおける群落特性に及ぼす土壌の諸性質の影響. 修士(農学)学位論文, 筑波大学大学院環境科学研究科.
- Kyuma, K., Hussain, A. and Kawaguchi, K. 1969. The nature of organic matter in soil organo-mineral complexes. *Soil Science and Plant Nutrition*, 15: 149-155.
- Lal, R. 2001. Potential of desertification control to sequester carbon and mitigate the greenhouse effect. *Climatic Change*, 51: 35-72.
- Liao, J.D., Boutton, T.W. and Jastrow, J.D. 2006. Organic matter turnover in soil physical fractions following woody plant invasion of grassland: Evidence from natural  $^{13}\text{C}$  and  $^{15}\text{N}$ . *Soil Biology and Biochemistry*, 38:3197-3210.
- Lützow, M.V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Flessa, H., Guggenberger, G., Matzner, E. and Marschner, B. 2007. SOM fractionation methods: Relevance to functional pools and to stabilization mechanisms. *Soil Biology and Biochemistry*, 39:2183-2207.
- Lützow, M.V., Kögel-Knabner, I., Ekschmitt, K., Matzner, E., Guggenberger, G., Marschner, B. and Flessa, H. 2006. Stabilization of organic matter in temperate soils: mechanisms and their relevance under different soil conditions- a review. *European Journal of Soil Science*, 57:426-445.
- Marschner, B., Brodowski, S., Dreves, A., Gleixner, G., Gude, A., Grootes, P.M., Hamer, U., Heim, A., Jandl, G., Ji, R., Kaiser, K., Kalbitz, K., Kramer, C., Leinweber, P., Rethemeyer, J., Schaffer, A., Schmidt, M.W.I., Schwark, L. and Wiesenberger, G.L.B. 2008. How relevant is recalcitrance for the stabilization of organic matter in soils? *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 171:91-110.
- McDaniel, P.A. and Munn, L.C. 1985. Effect of temperature on organic carbon-texture

- relationships in Mollisols and Aridisols. *Soil Science Society of America Journal*, 49: 1486-1489.
- Miegroet, H.V., Boettinger, J.L., Baker, M.A., Nielsen, J., Evans, D. and Stum, A. 2005. Soil carbon distribution and quality in a monotone rangeland-forest mosaic in northern Utah. *Forest Ecology and Management*, 220: 284-299.
- 村本穰司・後藤逸男・蜷木翠 1992. 振とう浸出法による土壌の交換性陽イオンおよび陽イオン交換容量の迅速分析. *日本土壌肥科学雑誌*, 63: 210-215.
- 中井信・趙貴海 1993. トルファン地区土壌の粘土鉱物. 日中共同研究成果発表報告会論文集, pp.71-78, 熱帯農業研究センター, つくば.
- 中村徹 2007. 草原の成り立ちと分布. 中村徹他著. 草原の科学への招待, pp.1-14, 筑波大学出版会, つくば.
- 成瀬敏郎 2009. 北米とユーラシアのレスの分布, 年代, 土壌生成に及ぼす意義. *ペドロジスト*, 53: 38-45.
- Nagano, H., Sugihara, S., Matsushima, M., Okitsu, S., Prikhodko, V.E., Manakhova, E., Zdanovich, G.B., Manakhov, D.V., Ivanov, I.V., Funakawa, S., Kawahigashi, M. and Inubushi, K. 2012. Carbon and nitrogen contents and greenhouse gas fluxes of the Eurasian steppe soils with different land-use histories located in the Arkaim museum reserve of South Ural, Russia. *Soil Science and Plant Nutrition*, 58: 238-244.
- Natelhoffer, K.J. and Fry, B. 1988. Controls on natural nitrogen-15 and carbon-13 abundances in forest soil organic matter. *Soil Science Society of America Journal*, 52: 1633-1640.
- Nichols, J.D. 1984. Relation of organic carbon to soil properties and climate in the southern great plains. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 1382-1384.
- 日本ペドロロジー学会編 1997. 土壌調査ハンドブック 改訂版, 博友社, 東京.
- North, P.F. 1976. Towards an absolute measurement of soil structural stability using ultrasound. *Journal of Soil Science*, 27: 451-459.
- 大羽裕・永塚鎮男 1988. 土壌系統分類体系, 大羽裕・永塚鎮男共著. 土壌生成分類学, pp. 207-328, 養賢堂, 東京.
- Olk, D.C. and Gregorich, E.G. 2006. Overview of the symposium proceedings, "Meaningful pools in determining soil carbon and nitrogen dynamics". *Soil Science Society of America Journal*, 70: 967-974.
- Percival, H.J. Parfitt, R.L. and Scott, N.A. 2000. Factors controlling soil carbon levels in New Zealand grasslands: Is clay content important? *Soil Science Society of America Journal*, 64: 1623-1630.
- Pogue, D.W. and Schnell, G.D. 2001. Effects of agriculture on habitat complexity in a prairie-forest ecotone in the Southern Great Plains of North America. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 87: 287-298.
- Sala, O.E., Parton, W.J., Joyce, L.A. and Lauenroth, W.K. 1988. Primary production of the central grassland region of the United States. *Ecology*, 69: 40-45.
- Sarah, P. 2006. Soil organic matter and land degradation in semi-arid area, Israel. *Catena*, 67: 50-55.
- Schmidt, M.W.I., Rumpel, C. and Kögel-Knabner, I. 1999. Evaluation of an ultrasonic dispersion procedure to isolate primary organomineral complexes from soils. *European Journal of Soil Science*, 50: 87-94.
- Sims, Z.R. and Nielsen, G.A. 1986. Organic carbon in Montana soils as related to clay content and climate. *Soil Science Society of America Journal*, 50: 1269-1271.
- Six, J., Conant, R.T., Paul, E.A. and Paustian, K. 2002. Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant and Soils*, 241: 155-176.
- Smith, P., Smith, J.U., Powlson, D.S., McGill, W.B., Arah, J.R.M., Chertov, O.G., Coleman, K., Franko, U., Frolking, S., Jenkinson, D.S., Jensen, L.S., Kelly, R.H., Klein-Gunnewiek, H., Komarov, A.S., Li, C., Molina, J.A.E., Mueller, T., Parton, W.J., Thornley, J.H.M. and Whitmore, A.P. 1997. A comparison of the performance of nine soil organic matter models using datasets from seven long-term experiments. *Geoderma*, 81:153-225.

- Steffens, M., Kölbl, A., Totsche, K.U. and Kögel-Knabner, I. 2008. Grazing effects on soil chemical and physical properties in semiarid steppe of Inner Mongolia (P.R. China). *Geoderma*, 143: 63-72.
- Stevenson, F.J. 1982. Organic matter transformations, distribution and function in soil. In F.J. Stevenson Eds. *Humus chemistry*, pp.1-25, John Wiley and Sons, New York.
- Su, Y.Z., Zhao, H.L., Zhao, W.Z. and Zhang, T.H. 2004. Fractal features of soil particle size distribution and the implication for indicating desertification. *Geoderma*, 122: 43-49.
- Suzuki, K., Jalaldin, A., Abdusalik, N., Tsendeekhuu, T., Kamijo, T. and Nakamura, T. 2012. What kind of vegetation exists in the Central Eurasian Steppe? *Journal of Arid Land Studies*, 22:239-241.
- Tamura, K. and Takuwa, M. 2005. Soil macro-morphological characteristics under the grassland in Kazakhstan. In T. Nakamura and Y. Cheng Eds. *Ecological Studies on the Steppe Vegetation in Eastern Kazakhstan*, pp. 47-54, University of Tsukuba, Tsukuba.
- Tamura, K. and Asano, M. 2006. Soil morphological characteristics under the grassland in North Eastern Mongolia. In T. Nakamura and Y. Cheng Eds. *Ecological Studies on the Steppe Vegetation in Mongolia*, pp. 63-70, University of Tsukuba, Tsukuba.
- Tani, M., Shinjo, H., Fujitake, N., Sumida, H. and Kosaki, T. 2012. Features and properties of Chernozemic soils and humic substances in eastern Ukraine. *Pedologist*, 56: 47-57.
- Tate, K.R. and Churchman, G.J. 1978. Organo-mineral fractions of a climosequence of soils in New Zealand tussock grasslands. *Journal of Soil Science*, 29: 331-339.
- Tiessen, H., Karamanos, R.E., Stewart, J.W.B. and Selles, F. 1984. Natural nitrogen-15 abundance as an indicator of soil organic matter transformations in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal*, 48: 312-315.
- Torn, M.S., Trumbore, S.E., Chadwick, O.A., Vistousek, P.M. and Hendricks, D.M. 1997. Mineral control of soil organic carbon and turnover. *Nature*, 389: 170-173.
- UNEP. 1997. *World atlas of desertification 2ED.*, pp5-7. UNEP, London.
- Wang, R. Z. 2004. Photosynthetic pathways and life form types for native plant species from Hulunbeier Rangelands, Inner Mongolia, North China. *Photosynthetica*, 42: 219-227.
- 渡邊三津子・小長谷有紀・秋山知宏・窪田順平 2011. カザフスタン共和国アルマトゥ州における農牧業変遷の一事例. *沙漠研究*, 21: 17-23.
- Wattel-Koekkoek, E.J., Buurman, P., Plicht, J.V.D., Wattel, E. and Breemen, N.V. 2003. Mean residence time of soil organic matter associated with kaolinite and smectite. *European Journal of Soil Science*, 54: 269-278.
- Wattel-Koekkoek, E.J.W. and Buurman, P. 2004. Mean residence time of kaolinite and smectite-bound organic matter in Mozambiquan soils. *Soil Science Society of America Journal*, 68: 154-161.
- Wilson, M.J. 1999. The origin and formation of clay minerals in soils: past, present and future perspectives. *Clay Minerals*, 34: 7-25.
- Yamamoto, Y. and Tamura, K. 2004. Soil characteristics under the grassland in Kharkiv State, Ukraine. In T. Nakamura, Y. Cheng and A. Kuzin Eds. *Ecological Studies on the Steppe Vegetation in Kharkiv, Ukraine*, pp. 46-53, University of Tsukuba, Tsukuba.
- 米山忠克 2008. 安定同位体利用技術  $\delta^{13}\text{C}$  を自然のトレーサとしたグローバル、リージョナル、テンポラルな大気-植物-土壌間の炭素循環の研究. *Radioisotopes*, 57: 121-137.
- 米山忠克・森田明雄・山田裕 2002. 土壌-植物系における炭素、窒素、酸素、イオウ動態解析のための安定同位体自然存在比の利用：1994 年以降の研究の展開. *日本土壌肥科学雑誌*, 73: 331-342.
- Zhao, H.L., He, Y.H., Zhou, R.L., Su, Y.Z., Li, Y.Q. and Drake, S. 2009. Effects of desertification on soil organic C and N content in sandy farmland and grassland of Inner Mongolia. *Catena*, 77:187-191.
- Zhao, W.Z., Xiao, H.L., Liu, Z.M. and Li, J. 2005. Soil degradation and restoration as affected by land use change in the semiarid Bashang area, northern China. *Catena*, 59: 173-186.
- Zomer, R.J., Trabucco, A., Straaten, O.V. and Bossio, D.A. 2006. Carbon, Land and Water: Hydrologic dimensions of climate change mitigation through afforestation and reforestation. IWHI Research Report 101, International Water Management Institute.

Colombo, Sri Lanka.